

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Filtrace a čistota pracovních kapalin a plynů

Filtration and Purity of Working Fluids and Gases

Student:

Lubor Pavelec

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Kamil Fojtášek, Ph.D.

Ostrava 2018

Zadání bakalářské práce

Student: **Lubor Pavelec**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení
Téma: **Filtrace a čistota pracovních kapalin a plynů**
Filtration and Purity of Working Fluids and Gases
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- 1) Vypracujte obecný přehled týkající se problematiky filtrace hydraulických kapalin a úpravy stlačeného vzduchu.
- 2) Popište požadavky na čistotu hydraulických kapalin a způsoby filtrace.
- 3) Na zkušební vzorku proveďte experimentální ověření čistoty pracovní kapaliny.

Seznam doporučené odborné literatury:

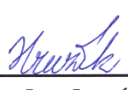
PAVLOK, B. *Hydraulické prvky a systémy, Díl II. - Řídicí prvky hydrostatických systémů, příslušenství hydrostatických obvodů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008, 140s. ISBN: 978-80-248-1827-6.
KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy díl 1. – Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TUO, 1996. 267 s. ISBN 80-7078-306-0.
BAROŠKA, J. *Hydrostatické mechanismy*. Žilina: Hydropneutech, 2012, 388s. ISBN 978-80-970897-2-6.
GRINČ, L. *Pracovné kvapaliny pre hydraulické systémy: druhy, filtrácia a ekologické aspekty*. Žilina: Vysoká škola dopravy a spojov, 1994, 151s. ISBN 80-7100-234-7.
MURRENHOFF, H. *Grundlagen der Fluidtechnik: Umdruck zur Vorlesung. Teil 1, Hydraulik. 7. korrigierte Auflage*. Aachen: Shaker, 2012, 400p. ISBN 978-3-8440-1223-1.
Podklady výrobců a internetové zdroje zabývající se danou problematikou.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Kamil Fojtášek, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018


doc. Dr. Ing. Lumír Hružík
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 21. května 2018



.....
Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21. května 2018



.....
Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Lubor Pavelec

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Kostelec u Holešova 188

768 43 Kostelec u Holešova

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

PAVELEC, L. *Filtrace a čistota pracovních kapalin a plynů: bakalářská práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2018, 55 s. Vedoucí práce: Fojtášek, K.

Bakalářská práce se zabývá filtrací a čistotou pracovních kapalin a plynů. Úkolem této práce je vypracovat celkový přehled této problematiky. V úvodu práce je vypracován obecný popis filtrace hydraulických kapalin a úpravy stlačeného vzduchu. V další části jsou charakterizovány jednotlivé způsoby filtrace v závislosti na konkrétním typu filtru. Jsou zde popsána kritéria pro výběr vhodného filtru s ohledem na různá hlediska, jako je např. závislost na průtoku filtrační vložkou či na maximální dovolené tlakové ztrátě na vložce. Obecně jsou v této části popsány základní specifikace filtrů a filtračních vložek. Dále jsou zde shrnuty požadavky na čistotu hydraulických kapalin a stlačeného plynu, které se odvíjí od zvolených prvků daného obvodu. V praktické části bakalářské práce je provedeno experimentální ověření čistoty pracovní kapaliny na zkušebním vzorku. Závěrem této části je vyhodnocení experimentu.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

PAVELEC, L. *Filtration and Purity of Working Fluids and Gases: Bachelor Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Equipment, 2018, 55 p. Thesis head: Fojtášek, K.

The Bachelor thesis deals with filtration and purity of working fluids and gases. The aim of this work is to produce a comprehensive overview of this issue. The introduction provides a general description of the hydraulic fluids filtration and the preparation of compressed air. The next part describes individual filtration methods depending on the particular type of filter. Further, I describe the criteria to select a suitable filter with respect to the various aspects such as the dependence on the flow through the filter element or the maximum permitted pressure loss on the insert. In general, the basic specifications of filters and filter inserts are described in this section. Further, the requirements for the purity of hydraulic fluids and compressed gas, which depend on the selected elements of the circuit, are described. The practical part of the bachelor thesis contains an experimental verification of the purity of the working fluid on the test sample. The final part of this section is the experiment evaluation.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů.....	8
Úvod.....	9
1 Důležitost filtrace	10
2 Pracovní média	11
2.1 Hydraulické kapaliny	11
2.1.1 Minerální oleje	11
2.1.2 Těžkozápalné kapaliny	12
2.1.3 Ekologicky příznivé kapaliny	13
2.2 Stlačený vzduch	14
3 Znečištění systémů a pracovních médií.....	15
3.1 Příčiny znečištění.....	15
3.2 Druhy znečištění.....	16
3.2.1 Znečištění pevnými látkami.....	16
3.2.2 Znečištění vzduchem	18
3.2.3 Znečištění vodou	19
4 Filtrační technika	20
4.1 Filtrační vložky a jejich volba.....	20
4.1.1 Filtrace s povrchovým filtračním účinkem	21
4.1.2 Filtrace s hlubkovým filtračním účinkem	22
5 Typy filtrů	24
5.1 Filtrace hydraulických mechanismů.....	24
5.1.1 Umístění filtrů v obvodu.....	25
5.1.2 Sací filtry	25
5.1.3 Tlakové filtry	27
5.1.4 Zpětné filtry	28
5.1.5 Vzduchové filtry.....	29
5.2 Filtrace pneumatických mechanismů	30
5.2.1 Úprava stlačeného vzduchu	31
5.2.2 Základní filtr.....	32
5.2.3 Mikrofiltr	33
5.2.4 Submikrofiltr.....	34
6 Požadavky na čistotu pracovního média	35
6.1 Požadavky na čistotu hydraulických kapalin	35

6.1.1 Klasifikace znečištění	35
6.1.2 Kódy čistoty hydraulických kapalin dle norem ISO a NAS	36
6.1.3 Úroveň čistoty	38
6.1.4 Přístroje měřící znečištění	40
6.2 Požadavky na čistotu stlačeného vzduchu	42
7 Experimentální ověření čistoty pracovní kapaliny na zkušebním vzorku	44
7.1 Schéma a charakteristika hydraulického obvodu	44
7.2 Specifikace měřícího přístroje Laser CM20.2021	46
7.2.1 Technické parametry	46
7.2.2 Popis přístroje	47
7.3 Princip měření a ověření čistoty zkušební kapaliny	49
7.4 Vyhodnocení	49
Závěr	52
Seznam použité literatury	53
Poděkování	55

Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Název veličiny	Jednotka
F	síla pružiny	[N]
l_n	litr technicky normální	[l, dm ³]
p	tlak	[Pa]
p_{MAX}	maximální přípustný provozní tlak	[Pa]
Q	průtok	[m ³ ·s ⁻¹]
Q_{MAX}	maximální možný průtok filtrem	[m ³ ·s ⁻¹]
t_1	teplota okolí v Celsiově stupnici	[°C]
t_2	teplota hydraulického oleje v Celsiově stupnici	[°C]
V	objem	[m ³]
ν	kinematická viskozita	[mm ² ·s ⁻¹]
ρ	hustota	[kg·m ⁻³]

Úvod

Hydraulika tvoří nezbytnou součást mnoha mechanismů, které v dnešní době můžeme najít takřka ve všech odvětvích, a to nejen v průmyslu, ale například i v dopravě či zdravotnictví. Pro nepřetržitý a hladký chod hydraulických zařízení je nutné, aby kapalina neobsahovala nežádoucí částice, které nejen že znečišťují hydraulický obvod, ale také mohou zásadním způsobem zkracovat životnost hydraulických prvků. Nejhorší dopad způsobuje znečištění pevnými látkami, které má za následek poruchy zařízení a jejich prostoje. V krajních případech může dojít až k trvalému poškození těchto prvků a případné opravy bývají často finančně náročné. V neposlední řadě hovoříme o ztrátách na zisku. Negativní dopad nežádoucích částic v médiu je tedy důvodem pro filtraci hydraulické kapaliny.

Pneumatické mechanismy se využívají například pod vodou nebo v místech, kde hrozí nebezpečí požáru. Jejich hnacím médiem je stlačený vzduch. Tyto mechanismy jsou ale hlučnější a vzhledem k vlastnostem se používají pro nižší pracovní tlaky. Obdobně jako u hydrauliky, je zde zapotřebí udržovat předepsanou čistotu média v závislosti na jednotlivých prvcích obvodu. Stlačený vzduch je tedy pro použití v pneumatických mechanismech potřeba také upravovat.

Cílem této práce je obecné shrnutí problematiky filtrace a úpravy jednotlivých médií v závislosti na konkrétních požadavcích. Jsou zde popsány nejrozumnější typy filtrů, se kterými se můžeme běžně setkat a podmínky, které je nutné dodržet pro bezchybný chod celého zařízení. V praktické části jsou použity poznatky, které jsou v této práci uvedeny.

1 Důležitost filtrace

Filtrace pracovních médií je základním předpokladem pro bezproblémový provoz hydraulických i pneumatických mechanismů. Až 70% příčin výpadků hydraulických zařízení je spojeno s kvalitou média. U pneumatických mechanismů hovoříme až o 90 % souvislosti. Provozní médium tedy přímo ovlivňuje všechny prvky obvodu. Obecně platí zásada udržet obvod co nejčistší a zároveň jej chránit před vlivy vnějšího prostředí. Druhy znečištění dělíme v závislosti na skupenství látky, která se do média ať už samovolně či nedopatřením dostala. Čím důkladněji je médium chráněno před těmito nepříznivými vlivy, tím efektivněji a ekonomičtěji lze dané zařízení provozovat.

V posledních letech směřuje vývoj v hydraulice k rychlejším a přesnějším reakcím akčních prvků. U moderních hydraulických prvků jsou hodnoty průsaků jen velmi malé a to za rostoucí hodnoty tlaku v systému. Aby bylo možné dosáhnout vyšších výkonových hodnot, je nutné vyrábět jednotlivé prvky s minimálními vůlemi, tedy s větší výrobní přesností. To je možné díky modernějším technologiím. Moderní hydraulika je samozřejmě náročnější na čistotu. Vyšší nároky na čistotu ovšem nezahrnují pouze výrobu a provoz zařízení, ale také čistotu při montáži jednotlivých součástí. Nutné je také vhodné uskladnění kapalin.

Do oblasti moderní hydrauliky patří proporcionální ventily a servoventily. Obecným označením se jedná o skupinu plynule regulovatelných ventilů. Tato technika vyžaduje obzvláště rychlou a přesnou reakci spínání ventilů. Co se týká požadavků na čistotu u proporcionálních ventilů, nejsou nároky zásadně odlišné od klasických prvků. Oproti tomu servomechanismy mají obecně velmi vysoké nároky na čistotu provozu. Výrobci těchto prvků uvádí do svých katalogů hodnoty maximálního možného znečištění pracovní kapaliny, při kterém může zařízení dlouhodobě pracovat (9).

2 Pracovní média

Zaručení funkčnosti není jen otázkou kvality jednotlivých prvků celého mechanismu, ale také kvalitou pracovního média. Jeho hlavní úkol spočívá v přenosu tlakové energie a síly. Kromě toho musí zajistit mazání pohyblivých částí, odvod tepla a čištění funkčních ploch, tedy i odvod nečistot ze zařízení. Kromě toho zastává celou řadu dalších funkcí. (10).

2.1 Hydraulické kapaliny

Vůbec první kapalinou, která se využívala v hydraulických mechanismech, byla voda. Až posléze se zjistilo, že minerální oleje mají lepší vlastnosti než voda. Olej se začal hojně využívat počátkem 20. století. Ačkoliv je minerální olej dražší než voda, je hořlavý a ve většině případů i ekologicky závadný (výjimku tvoří ekologicky odbouratelné oleje), jedná se o nejpoužívanější médium hydraulických obvodů. Voda totiž nemá mazací schopnost, která je nezbytná pro bezchybný a hladký chod celého zařízení, obzvláště v místech, kde se nachází vzájemně pohyblivé části obvodu. Další obrovskou výhodou oleje je antikorozi působení. Z tohoto výčtu je patrné, že olej využijeme všude tam, kde je třeba zajistit vhodnou viskozitu nezbytnou pro vznik kapalinového tření u kluzných dvojic. Díky mazacím schopnostem olej výrazně snižuje opotřebení jednotlivých součástí a tím i zásadně ovlivňuje životnost celého zařízení. Naopak samotná voda se již v dnešní době využívá jen velmi zřídka. Vesměs se vyskytuje jen v podobě emulzí. V minulosti se využívala například u zemědělských či lesních strojů díky ekologické nezávadnosti, ovšem dnes je díky lepším vlastnostem nahrazena ekologicky odbouratelnými oleji. Své uplatnění měla rovněž v oblasti důlní těžby, a to především kvůli své příznivé ceně (1).

2.1.1 Minerální oleje

Minerální oleje jsou vyráběny pomocí rafinace a destilace ropy. V závislosti na požadovaných vlastnostech se při výrobě minerálního oleje může uplatnit celá řada dalších technologických metod. Při jednotlivých stupních rafinace se postupně uvolňují v závislosti na teplotě jednotlivé složky. Takto se získávají všechny ropné produkty jako je motorový benzín či nafta.

Zlepšení vlastností minerálních olejů je možné dosáhnout pomocí nejrůznějších příměsí. Tyto látky se také označují jako aditiva. V praxi se minerální oleje bez aditiv takřka nepoužívají. Dle obsažených přísad se minerální oleje rozdělují do jednotlivých tříd,

jelikož každé aditivum jinak ovlivňuje výsledné vlastnosti oleje. V Evropě se nejčastěji setkáme s rozdělením do tříd dle normy ISO 6743/4 **(11)**. Podrobnější klasifikace je uvedena v **tab. 1**.

Tab. 1 – Klasifikace minerálních olejů **(1)**

ISO/DIS 6743/4 CETOP RP 91 H	DIN 51 524	Obsah přísad
HH	-	bez přísad
HL	HL	přísady proti oxidaci a korozi
HR	-	jako HL+modifikátor viskozity
HM	HLP	jako HL+protioděrové přísady
HV	HLPV	jako HM+modifikátor viskozity

V každé z uvedených tříd je dalších osm tříd viskózních. Nejčastěji se však využívají oleje: ISO VG 10, 22, 32, 46, 68, 100 **(1)**. Více informací k jednotlivým třídám najdeme ve zdrojích **(1)** a **(4)**.

2.1.2 Těžkozápalné kapaliny

Výhodou těžkozápalných kapalin je oproti klasickým minerálním olejům rozsah prostředí, ve kterých lze tyto kapaliny použít. Odolávají velmi vysokým teplotám a nehrozí u nich tak bezprostřední nebezpečí požáru či výbuchu. Své využití mají často v oblasti velkého vývinu tepla, obzvláště při zpracovávání surového materiálu. Typickým příkladem jsou válcovny, slévárny nebo také důlní šachty. To ale neznamená, že jsou nehořlavé, jak se často mylně uvádí. Je možné je kombinovat spolu s minerálními oleji. Vzájemné smíchání dvou různých těžkozápalných kapalin se však zcela vylučuje. Vyznačují se velkou odolností vůči stárnutí a vysokou ochranou jednotlivých prvků před opotřebením **(4)**. Dle ISO 6071 se dělí do čtyř základních skupin, **tab. 2**. Podrobnější charakteristiku jednotlivých tříd najdeme ve zdrojích **(1)** a **(4)**.

Tab. 2 – Rozdělení těžkozápalných kapalin dle evropské normy ISO 6071 **(1)**

HFA	- emulze oleje ve vodě (vysokoprocenní emulze)
HFB	- emulze vody v oleji (nizkoprocenní emulze)
HFC	- vodní roztoky polymerů (polyglykolů ap.)
HFD	- syntetické bezvodé kapaliny.

2.1.3 Ekologicky příznivé kapaliny

Jedná se ekologicky odbouratelné kapaliny, které se dokážou postupně za určitý čas rozložit tak, aniž by tím jakkoliv ovlivnily životní prostředí. Jejich vývoj prochází neustálou inovací. Největší uplatnění mají u mobilní hydrauliky v oblasti lesních a částečně i zemědělských strojů, a to obzvláště tam, kde se tato technika pohybuje na pozemcích, pod kterými se nacházejí zdroje pitné vody. Dále se s nimi setkáváme u zařízení pracujících na vodních plochách a také u stacionárních strojů v oblasti potravinářství (4). Postupem času tak nahradily klasické minerální oleje. V případě úniku kapaliny nedochází ke kontaminaci půdy, což je jejich největší výhodou. Stručný přehled včetně rozdělení ekologických kapalin dle normy ISO (11) je uveden v **tab. 3**.

Tab. 3 – Rozdělení ekologických kapalin (11)

značení ISO	DRUH KAPALINY CHARAKTERISTIKA	POUŽITÍ
HETG	ROSTLINNÝ OLEJ HYDR. KAPALINY NA ROSTLINNÉ BÁZI např. ŘEPKOVÝ OLEJ	-20 °C až 70 °C
HEPG	POLYGLYKOLY ROZPUSTNÉ VE VODĚ	-30 °C až 90 °C
HEES	SYNTETICKÉ ESTERY NEJČASTĚJI POUŽÍVANÉ	-35 °C až 90 °C
HEPR	POLYALFAOLEFINY NEROZPUSTNÉ VE VODĚ	-35 °C až 80 °C

Z rostlinných olejů se nejčastěji používá řepkový olej a to v hydraulice již zmíněných lesních a zemědělských strojů. Rostlinné oleje se vyznačují dobrou mazací schopností a úplnou rozložitelností, avšak podléhají hydrolýze. Podstatně horší je vzhledem k minerálním olejům i odolnost proti oxidaci. Jsou přibližně dvakrát dražší než minerální oleje a jejich provozní doba činní asi 2000 hodin. U polyglykolů se biologická odbouratelnost pohybuje okolo 90 %, u syntetických esterů pak okolo 95 %. Vlastnosti syntetických esterů jsou v mnoha ohledech podobné rostlinným olejům, avšak navíc jsou odolné proti oxidaci a hydrolýze (1). Podrobnější popis těchto kapalin uvádí zdroj (1).

2.2 Stlačený vzduch

V oblasti pneumatiky je nositelem energie stlačený vzduch. Ten je nasáván přímo z atmosféry včetně nečistot, které je třeba dále oddělit. Stlačený vzduch se skládá ze suchého vzduchu, pevných částic a vodních par, které tvoří obsaženou vlhkost.

Úkolem vzduchových filtrů je odstranění všech znečišťujících částic z média. Obsaženou vlhkost je nutno odstranit pomocí sušení. Takto upravený vzduch zabraňuje degradaci mechanismu. V minulosti se pro zvýšení životnosti vzájemně se pohybujících prvků stlačený vzduch přimazával olejovou mlhou. Tím bylo sice zabezpečeno jak mazání ploch, tak i antikoroze ochrana, ale takovéto mechanismy byly nevhodné do prostředí, kde byly vyšší nároky na čistotu či na protipožární ochranu. To vedlo k vývoji modernějších pneumatických prvků, které již přimazávání vzduchu nevyžadují, protože jsou vybaveny trvalou náplní maziva. Tato náplň pokryje udávanou provozní životnost prvku. Navzdory tomu existují i prvky, jako například některé druhy pneumatických motorů, které se bez přimazávání malým množstvím oleje neobejdou ani dnes (7).

Výroba a využití mechanismů se stlačeným vzduchem patří k nejdražším, a to i přesto, že vzduch je nejdostupnějším médiem vůbec. Proto je kladen důraz na jejich maximální využití. Dostupnost stlačeného vzduchu mohou zajišťovat například pojízdné kompresory.

Na rozdíl od hydraulických mechanismů zde nedochází k poškození funkčních částí systému. Přetížení mechanismu vede k jeho celkovému zastavení. Není-li stlačený vzduch přimazáván olejovou mlhou, je jeho únik do okolí ekologicky zcela nezávadný. Také se zde nemaří energie jako u hydraulických mechanismů, kdy případný přetlak kapaliny je přepouštěn přes pojistný ventil zpět do nádrže (3).

„Obecně se pneumatické pohony používají tam, kde stačí malé až střední síly a je třeba rychlý pohyb s vysokou frekvencí“ (7). Setkáváme se s nimi například v potravinářství či v oblasti farmacie, obecně v prostorech, kde je vyžadována zvýšená čistota provozu. Jsou bezpečné. Nasazují se v prostorech, kde hrozí nebezpečí požáru, případně výbuchu. Typickým příkladem jsou gumárny či dřevozpracující podniky.

Mezi další výhody pneumatických mechanismů patří vysoká variabilita provozních teplot a snadná regulace. Oproti hydraulice je možný rozvod médií do značně delších vzdáleností. Naopak mezi nevýhody patří ztráty při rozvodech, obtížné zastavení v mezipolohách a vysoké pořizovací a provozní náklady (3).

3 Znečištění systémů a pracovních médií

Nečistoty se do obvodů mohou dostat několika způsoby. Část pochází z okolí zařízení. Takové znečištění označujeme jako externí. Nejčastěji se tak stává v místech vstupu média do systému, tedy v oblasti plnicích armatur. Dále se mohou nečistoty do obvodu dostat skrze vůle v oblasti těsnění nebo při montáži jednotlivých komponentů. Vhodnými technologiemi a dodržováním předepsaných postupů je možné tomuto druhu znečištění zabránit. Nádrž obvodu musí být vybavena víkem, ve kterém musí být instalován vzduchový filtr. Současně musí být nádrž odvětrávána a těsnění válců musí být vyrobeno z materiálu odolného vůči vlastnostem použité kapaliny **(10)**.

Zdrojem interního znečištění jsou pohyblivé funkční části prvků, například u čerpadel či ventilů. Při vzájemném pohybu dochází k jejich otěru **(10)**. Použití filtrace u takovýchto prvků je obzvlášť důležité, protože uvolněné pevné částice mohou dále poškodit ostatní prvky systému. Na rozdíl od externího znečištění, interní je možné pouze eliminovat a to správným provozem zařízení.

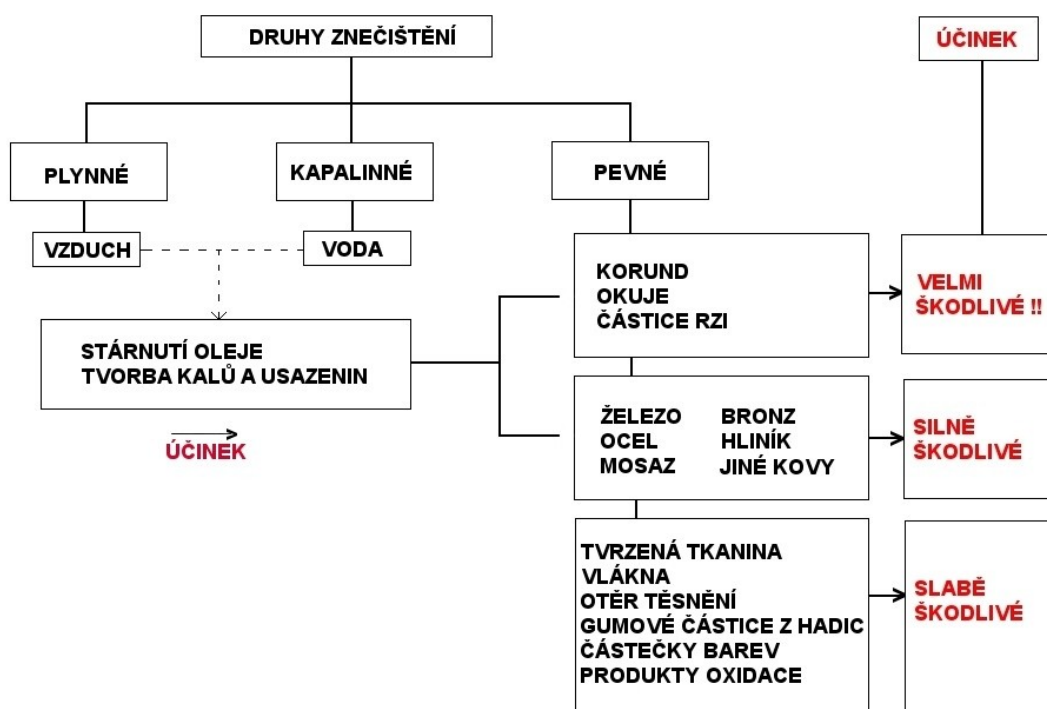
3.1 Příčiny znečištění

Jak bylo uvedeno v předchozí kapitole, znečištění systému může vzniknout při montáži, kdy se uvolňují pevné částice vlivem řezání, broušení či svařování. Dalším zdrojem nečistot je otěr dvou navzájem se pohybujících částí komponentů. V takovém případě hovoříme o znečištění způsobeném provozem zařízení. Kromě toho se setkáváme s nečistotami vzniklými při výrobě komponentů a také samotných médií. Ačkoliv jsou všechny vyrobené části důkladně očištěny, stává se, že po určité době provozu se do pracovního média uvolní zbytky nečistot. Často se jedná o velmi specifické provedení vnitřních hran, kde se nečistoty usadí v nejrůznějších záhybech či drážkách. Nejčastěji jde o zbytky zaschlé barvy, písku, třísek nebo prachu **(10)**. Běžně dodávané oleje obsahují větší znečišťující částice, než je přípustné pro provoz zařízení. Olej je třeba filtrovat již před prvním použitím. To jsou důvody, proč je potřeba před prvním ostrým spuštěním mechanismu provést zkušební běh. Spuštění ve zkušebním provozu probíhá za nižších otáček, tedy při nižší zátěži, při kterém jsou zachycovány právě zmíněné nečistoty.

Důležitá je také pravidelná výměna pracovního média. Vlivem stárnutí, které je urychleno vysokými teplotami systému, se vytvářejí znečišťující částice. Ty mají za následek tribologické změny vlastností daného média **(10)**. To může vést k celkové degradaci systému.

3.2 Druhy znečištění

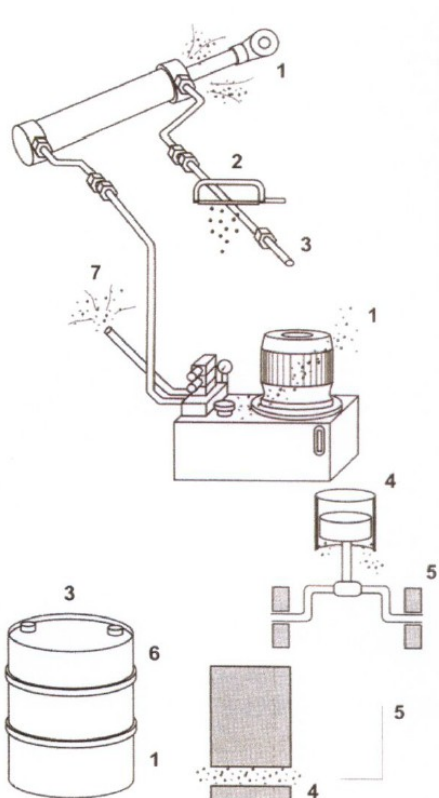
Předchozí kapitoly byly většinou věnovány znečištění pevnými částicemi. Nelze ale opomenout také kapalinné a plynné znečišťující částice. Například u mechanismů se stlačeným vzduchem je další úprava vzduchu nutná. Stlačený vzduch může obsahovat nadměrnou vlhkost, částice prachu a nežádoucí plyny. Základní přehled rozdělení znečištění podle skupenství látky s následným dopadem na pneumatické a hydraulické obvody je uveden na **obr. 1**.



Obr. 1 - Přehled znečištění v závislosti na látce s účinkem na systém, upraveno dle zdroje (9)

3.2.1 Znečištění pevnými látkami

Jak bylo uvedeno v úvodu této kapitoly, znečištění médií pevnými částicemi může být externího i interního typu. Na následujícím **obr. 2** jsou uvedeny příklady vzniku tohoto znečištění u hydraulických mechanismů.

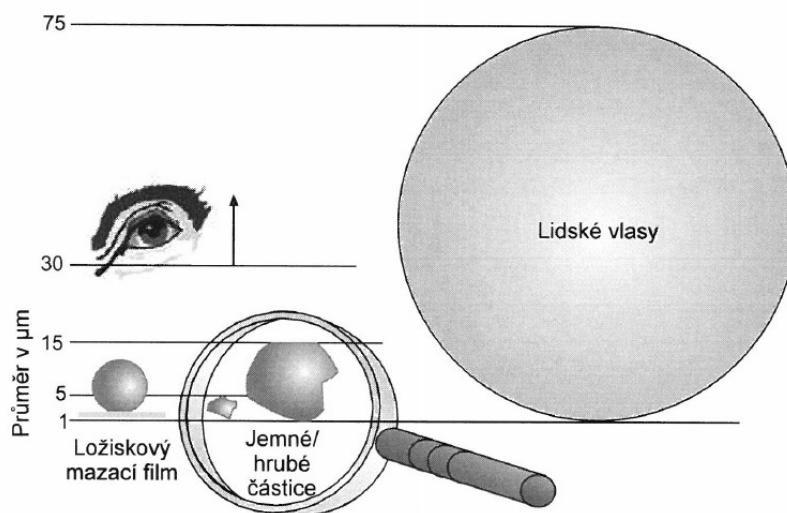


1- vnější znečištění (externí), 2 – montáž, 3 – znečištěná kapalina, 4 – interní znečištění, 5 – otěr, 6 – doplnění nového oleje, 7 – opravy

Obr. 2 - Zdroje znečištění hydraulických obvodů (10)

Zvýšený obsah pevných částic v pracovním médiu snižuje celkovou účinnost systému. Jednotlivé částice mohou nevratně poškodit jednotlivé prvky obvodu. Případné poruchy však nejsou jen otázkou velikosti a počtu částic. Poškození je o to větší, čím je vyšší hodnota provozního tlaku. Tento tlak udělí neseným částicím větší energii, tudíž následky při styku částic a prvků jsou o to závažnější. Velmi zásadním kritériem je tvrdost těchto částic. S rostoucí tvrdostí v kombinaci s vysokým tlakem systému se zvyšuje poškození prvků v podobě vzniku rýh a výmolů.

Na pohled čistá kapalina nemusí být dostatečně čistá pro daný mechanismus. V mnoha případech se jedná o částice menší než 30 μm . Takovéto částice není možné pozorovat pouhým zrakem. Pro přehlednost je na **obr. 3** uvedena velikost znečišťujících látek v porovnání s velikostí lidského vlasu (9).



Obr. 3 – Přehled velikostí částic (9)

Nejvýznamnější vliv mají velmi tvrdé částice, jejichž velikost je shodná s velikostí štěrbin. V takovýchto případech dochází k abrazi, tedy k otěru součásti působením velkého přilnutí nečistoty. Původní nečistoty se rozpadají na menší a nově uvolněné částice se dostávají dále do oběhu, čímž vzrůstá koncentrace nečistot. V **tab. 4** jsou uvedeny rozměry štěrbin u vybraných hydraulických komponentů.

Tab. 4 – Přehled velikostí štěrbin u jednotlivých komponentů (9)

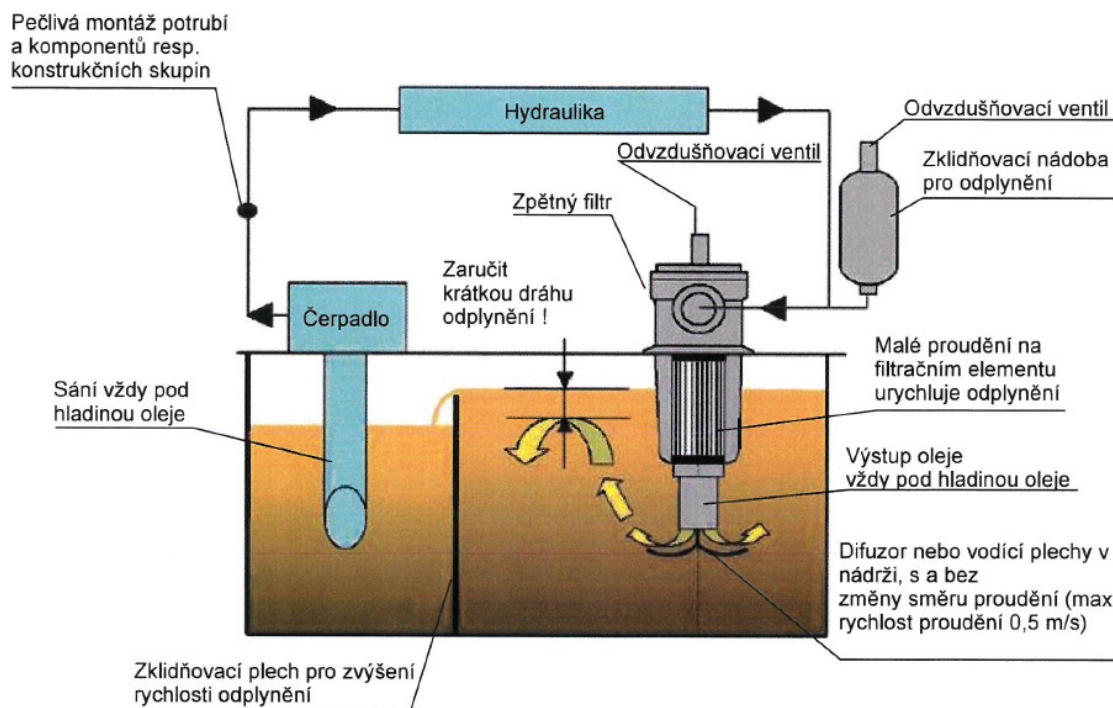
Hydraulická součást	Rozměr štěrbin
ložisko s malým třením	0,5 μm
lamelové čerpadlo (špička lamely/vnější kruh)	0,5 - 1 μm
zubové čerpadlo (ozubené kolo/boční deska)	0,5 - 5 μm
servoventil (šoupátko/vrtání)	1 - 4 μm
hydrostatické ložisko	1 - 25 μm
pístové čerpadlo (píst/vrtání válce)	5 - 40 μm
servoventil (klapky)	18 - 63 μm
hydraulický válec (vůle při chodu)	50 - 250 μm
servoventil (tryska)	130 - 450 μm

3.2.2 Znečištění vzduchem

Přirozený podíl vzduchu v kapalině se pohybuje okolo 9 %. To je takové množství, které může jen nepatrně ovlivnit provoz hydraulického systému. Při vyšším procentu obsahu vzduchu dochází ke ztrátám na výkonu čerpadla, protože je vzduch mnohem snadněji stlačitelný než hydraulické kapaliny. Vyšší obsah vzduchu také snižuje životnost filtrů. Při stlačení vzduchu může vzniknout tzv. „Mikro-Diesel efekt“ (4). Dochází při něm k velkému nárůstu tlaku a to vede k nárůstu teploty. Efekt končí tím, že se vznítí

vzduchové bubliny, avšak nedostatek kyslíku zabraňuje jejich úplnému shoření. Tak vznikají další nečistoty v podobě sazí, které se dostávají dále do oběhu.

Nadměrné množství vzduchu se může do obvodu dostat prostřednictvím použité kapaliny. Dále se může jednat o technologickou nebo konstrukční závadu. Příklady jsou netěsnost, nasávání vzduchu v čerpadlech a další. To vede ke vzniku kavitací, nadměrného pění kapaliny nebo k již zmíněnému růstu teploty a poškození filtrů. Z **obr. 4** je patrné, jakými metodami je možné omezit výskyt vzduchu v obvodu.



Obr. 4 – Prevence výskytu vzduchu v hydraulickém obvodu (9)

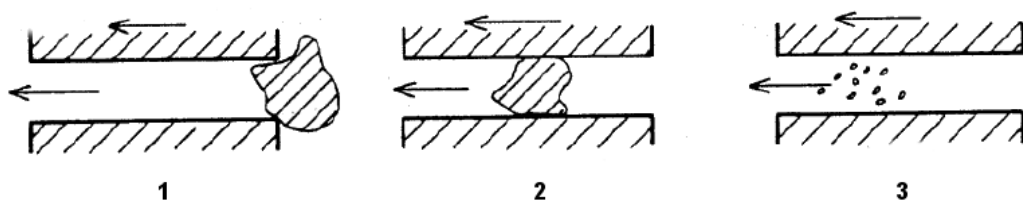
3.2.3 Znečištění vodou

Výskyt vody v hydraulických systémech vede ke snížení mazacích schopností média a výskytu koroze. Možným problémem jsou i obsažená aditiva v hydraulických kapalinách, která reakcí s volnými molekulami vody vytváří škodlivé oxidy a kaly. Tyto molekuly vody se v oleji vyskytnou po překročení bodu nasycení, jenž souvisí se vzrůstající teplotou. Při výběru provozní kapaliny je tedy nezbytné stanovit rozsah provozní teploty. Velké riziko rovněž hrozí i z opačné strany teplotní stupnice. V okamžiku, kdy teplota kapaliny klesne pod 0 °C, začnou se vytvářet krystalky zmrzlé vody, které mohou zásadním způsobem ovlivnit chod celého systému. Led má větší objem než voda. V případě, kdy je voda hnacím médiem, hrozí úplné zmrznutí kapaliny, které může skončit až prasknutím

potrubí. Mezi další časté příčiny znečištění vodou patří nedokonalé těsnění pístnic, průsak v tepelném výměníku či neopatrnost při čištění mechanismu.

4 Filtrační technika

Primárním úkolem filtrační techniky je odstranění všech nečistot z pracovních kapalin či plynů. Snahou je při co nejmenších nákladech dosáhnout nejvyšší možné čistoty a zároveň udržet ideální funkci všech prvků daného obvodu. Při filtraci platí pravidlo filtrovat na velikost menší, než je velikost funkčních mezer daného mechanismu, **obr. 5**. Tím je předcházeno abrazivnímu opotřebení jednotlivých komponentů a dosaženo tak vysoké spolehlivosti a bezporuchovosti systému.



- 1 – částice větší než velikost funkční mezery (neprůchodnost – zanesení systému)
- 2 – shodná velikost částice a funkční mezery (kritická – abrazivní opotřebení)
- 3 – menší velikost částic oproti velikosti funkční mezery (erozivní opotřebení)

Obr. 5 – Přehled velikostí znečišťujících částí vzhledem
k velikosti funkčních mezer (6)

Vhodná filtrace se odvíjí v závislosti na požadované jemnosti. Nejjemnější částice se pohybují v rozmezí 2 - 5 μm . Za jemné se označují částice v rozmezí 5 – 15 μm a za hrubé pak považujeme částice větší než 20 μm . Právě hrubé částice mají největší dopad na systém, jelikož způsobují erozivní i abrazivní opotřebení. Zanášení funkčních mezer prvků pak vede k poruchám systému (2).

4.1 Filtrační vložky a jejich volba

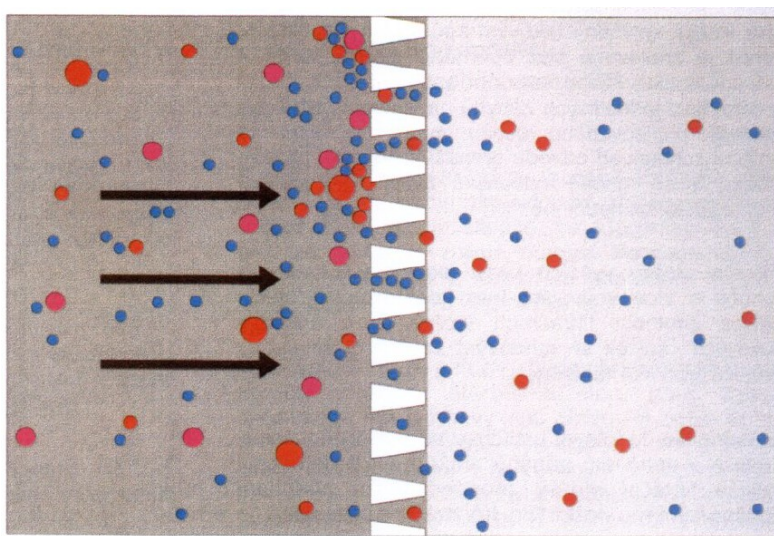
Filtrační vložky jsou nejdůležitějším funkčním prvkem filtrů, jejichž hlavním úkolem je snížení množství nečistot z proudícího média na předepsanou hodnotu. Zároveň však musí tuto hodnotu udržet stabilní po celou dobu, kdy je zařízení v provozu, aniž by došlo

ke změnám provozních parametrů. Vložky mohou být zhotovené z mnoha různých materiálů včetně jejich vzájemných kombinací.

Volba filtrační vložky s ohledem na zvolený materiál závisí na prostředí, v jakém bude konkrétní filtr pracovat a na kapalině, která bude filtrem protékat. S rostoucí viskozitou kapaliny roste i tlaková ztráta. Je také třeba dopředu určit, o jaký typ filtrace půjde. Z tohoto hlediska rozlišujeme filtrační vložky s povrchovým a hloubkovým filtračním účinkem (2).

4.1.1 Filtrace s povrchovým filtračním účinkem

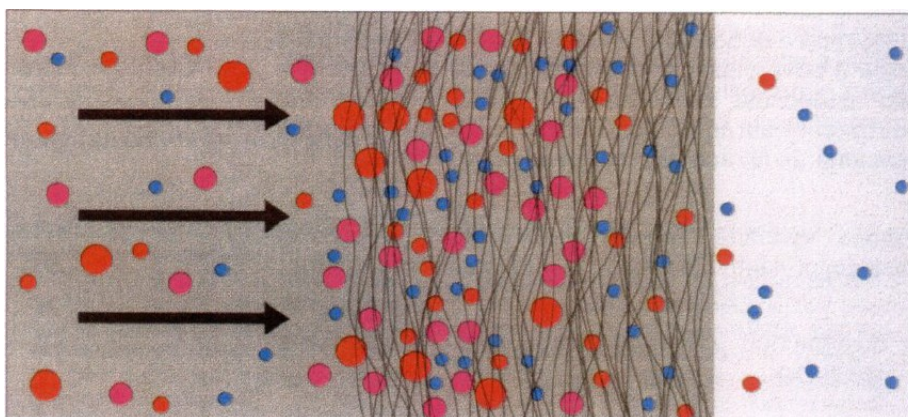
Filtraci s povrchovým filtračním účinkem označujeme zkráceně jako filtraci povrchem, **obr. 6**. Dochází zde k odloučení částic nečistot pouze na povrchu filtrační vložky. Nevýhodou této metody je, že jakékoliv menší částice, v porovnání s velikostí jednotlivých ok rohože, jsou dále propuštěny do oběhu. Větší nečistoty jsou bez problému zachyceny, ovšem díky malé pohlcovací kapacitě se vložky velmi rychle zanáší, v porovnání s vložkami s hloubkovým účinkem. S přibývajícím zanesením tak roste odpor proti pohybu kapaliny a s rostoucím tlakovým spádem roste riziko protržení filtrační vložky. Výhodou je ale snadné čištění. Povrchové vložky filtrů se vyrábí z tkanin, které tvoří jedno síto v závislosti na požadované jemnosti. Typickým materiálem tkaniny jsou vinutá ocelová nerez vlákna. V poslední době se často setkáváme i s plastovými vlákny, která mají vysokou chemickou odolnost. Své využití najdou tyto filtrační vložky u sacích filtrů nebo při filtraci těžko zápalných kapalin.



Obr. 6 – Filtrační vložka s povrchovým filtračním účinkem (2)

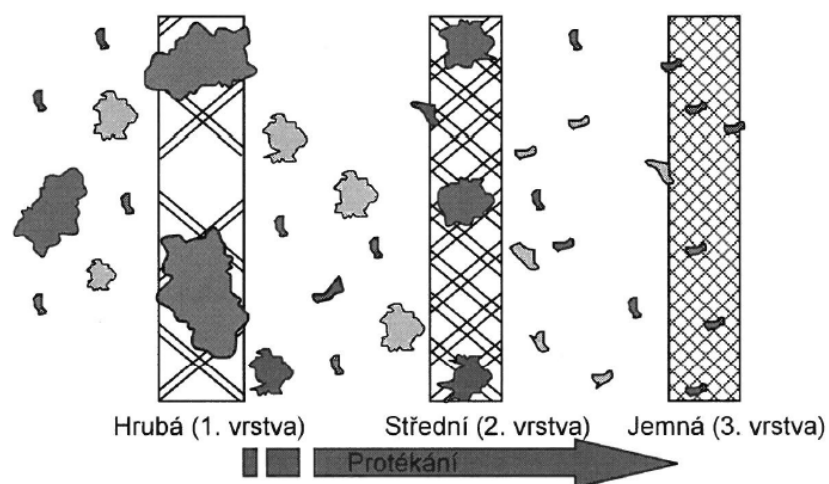
4.1.2 Filtrace s hloubkovým filtračním účinkem

Filtrace s hloubkovým filtračním účinkem se také označuje zkráceně jako hloubková filtrace, **obr. 7**. Tato metoda je vhodná pro částice menší než 25 μm , ovšem vyrábí se už pro jemnost od 1 μm . Látka protékající hloubkovým filtrem je tak postupně zbavovaná nečistot v závislosti na struktuře vložky. Jednotlivé vrstvy jsou rozmístěny v průběhu celé vložky tak, aby byly postupně filtrovány všechny možné velikosti znečišťujících částic. Jsou vyráběny z keramických, skelných, umělých či dokonce papírových vláken. Jednotlivá vlákna se spékají dohromady a tvoří tak svou charakteristickou strukturu. Nevýhodou je, že se nedají žádným způsobem čistit a jsou tedy určeny k jednorázovému použití. Důležitá je tak včasná výměna filtrační vložky. Ta nastává v okamžiku, kdy začne docházet k nárůstu odporu vůči proudící kapalině. Využívají se například k ochraně zařízení, která jsou velmi citlivá na nečistoty (**9**).



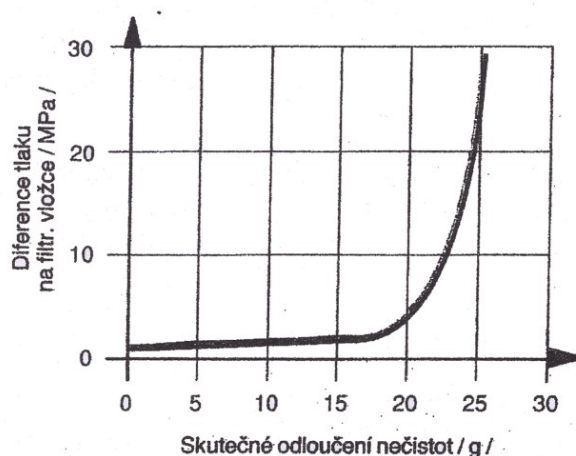
Obr. 7 – Filtrační vložka s hloubkovým filtračním účinkem (**2**)

Nejkvalitnější hloubkové vložky se vyrábí s postupně se zmenšujícími velikostmi ok v jednotlivých vrstvách, a to za účelem vysoké spolehlivosti a delší životnosti. Jsou odolné proti tlakovým špičkám, které vznikají v důsledku proměnného průtoku. V principu se jedná o to, že první a druhá vrstva rohoží postupně zabrání průniku těch největších částic a hovoříme tak o předfiltraci. Poslední vrstva rohoží pak představuje klasickou hloubkovou filtraci jemných částic, **obr. 8**.



Obr. 8 – Postup při odlučování částic z vložky s vícevrstvou rohoží (9)

Míra znečištění usazeného na vložce se měří v gramech. Tento jev označujeme jako jímavost filtru. Každý typ filtru se vyrábí s jinou hodnotou jímavosti. V okamžiku, kdy je tato hodnota překročena, dochází k rychlému nárůstu tlakového spádu a to může vést k trvalému poškození struktury filtru. Takováto situace je vidět i na **obr. 9**.



Obr. 9 – Závislost tlakového spádu na filtrační vložce vzhledem k množství zachycených nečistot v gramech (2)

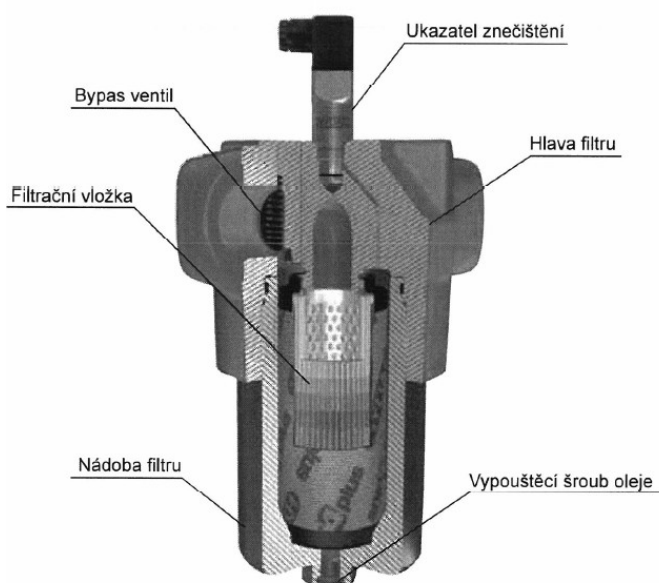
5 Typy filtrů

Jak již bylo dříve zmíněno, filtrace hydraulických kapalin a úprava stlačeného vzduchu jsou nezbytnými předpoklady pro bezporuchový provoz zařízení. V oblasti hydrauliky a pneumatiky se však využívají poněkud odlišné principy, tudíž jsou rozdílné i filtry a jejich umístění v obvodu.

5.1 Filtrace hydraulických mechanismů

V oblasti hydraulických mechanismů existuje velký počet nejrůznějších typů filtrů. V závislosti na funkci rozlišujeme filtry sací, tlakové, nízkotlakové a vzduchové. Další dělení je například podle umístění v obvodu. Typickým příkladem je zpětný filtr.

Hydraulický filtr je těleso tvořené z několika dílčích prvků, **obr. 10**. Základ tvoří hlava a nádoba filtru. Součástí hlavy je vstup a výstup, které slouží k připojení do hydraulického systému. Uvnitř tělesa, konkrétně v nádobě filtru, se nachází filtrační vložka. Často se setkáváme s označením filtrační element. Některé typy filtračních těles jsou navíc vybaveny indikátorem znečištění filtračních vložek a bypass ventilem. Tento druh ventilu slouží k ochraně před velkými tlakovými diferencemi, čímž dokáže zabránit poškození filtrační vložky. Bypass ventil tvoří nedílnou součást zpětných filtrů, často se ale vyskytuje i u filtrů sacích a tlakových. Co se týká indikátoru znečištění, ten funguje na principu snímání a kontroly hodnoty tlakového spádu na filtrační vložce. Jakmile dojde k překročení kritické hodnoty, spustí se varovná signalizace (9).

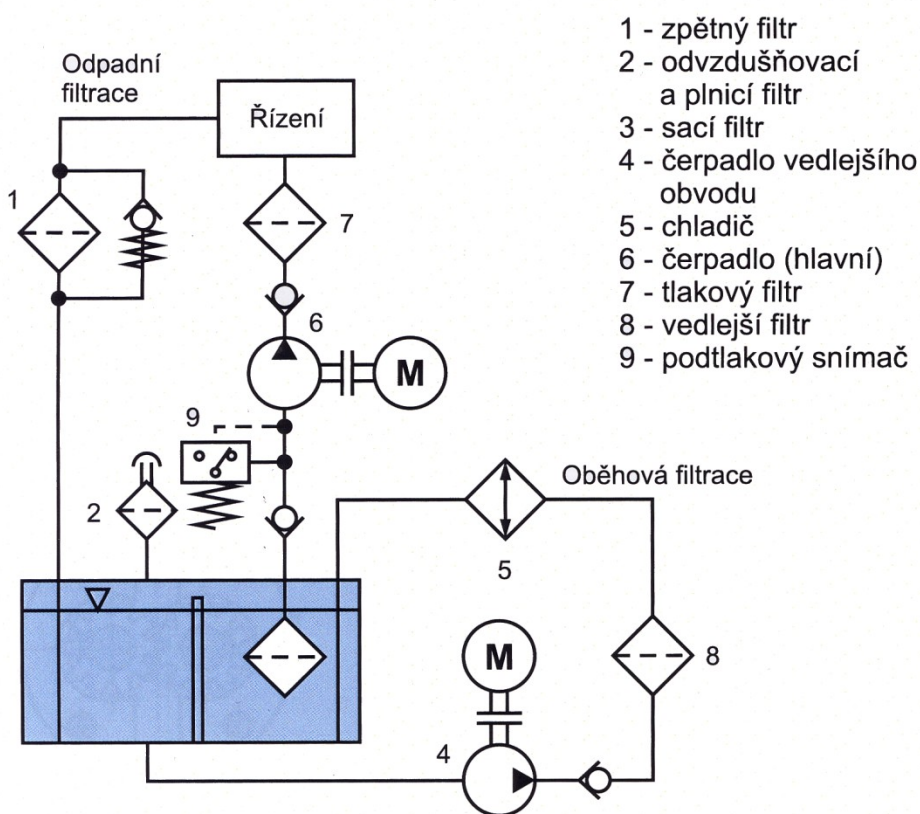


Obr. 10 – Těleso hydraulického filtru (9)

5.1.1 Umístění filtrů v obvodu

Jedno z nejčastějších zapojení filtrů je v odpadním vedení. V tomto místě se kapalina vrací zpět do nádrže. Možnou alternativou je upevnění filtru přímo na víko nádrže. Tyto varianty ovšem nejsou zcela ideální, jelikož samotná filtrace se odvíjí na základě činnosti systému. Další nevýhodou je nutnost dimenzovat filtry na maximální možný průtok kapaliny. Řešením pak může být zapojení nízkotlakého filtru do samostatného filtračního okruhu, kde jsou již zmíněné nevýhody zcela eliminovány (2).

Na **obr. 11** jsou znázorněny tyto a další místa otevřeného hydraulického obvodu, kam se filtry nejčastěji umísťují.



Obr. 11 – Možnosti umístění filtrů v hydraulických obvodech (11)

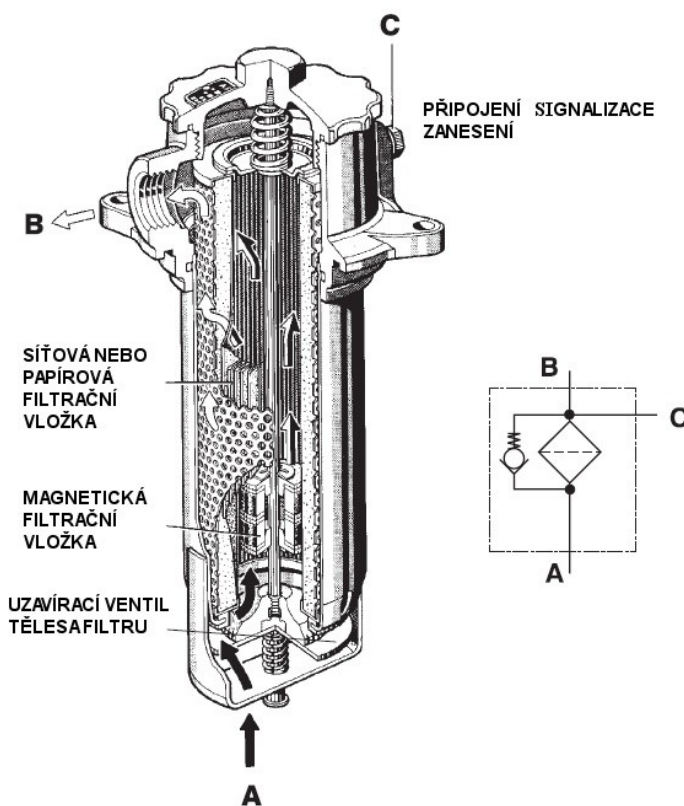
5.1.2 Sací filtry

Sací filtry se do obvodu umísťují v sací větvi čerpadla, tedy mezi nádrž a čerpadlo. Jejich hlavním úkolem je chránit čerpadlo před vniknutím velkých nečistot. Rozhodnutí umístit sací filtr do obvodu se využívá pouze v nezbytných případech. Filtrační vložka musí být hrubá, aby nedošlo k velkému tlakovému spádu na filtru. Obvykle se velikost

filtračních ok pohybuje mezi 40 – 125 μm . Při větší udávané hodnotě tlakového spádu než 0,02 MPa by vlivem podtlaku za filtrem mohlo dojít ke vzniku kavitace a tedy i k poškození čerpadla. Z tohoto důvodu je nutné umístit mezi filtr a čerpadlo podtlakový snímač, který by v případě překročení kritické hodnoty tlakového spádu čerpadlo vypnul.

Z toho vyplývá, že sací filtry neslouží jako primární odlučovače nečistot, nýbrž pouze jako ochranné prvky čerpadla. Jemnost filtrace se tedy odvíjí na základě dovoleného tlakového spádu, přičemž termín jemná je v tom případě spíše obrazný. K zaručení důkladné a spolehlivé filtrace je třeba využít ještě další typy filtrů. O tom bude pojednáno v následujících kapitolách. Své využití najdou sací filtry například u zařízení více hydraulických obvodů s různými požadavky na čistotu, které mají společnou nádrž.

Do sací větve čerpadla se umísťují také sací koše, a to konkrétně do nádrže pod hladinu kapaliny. Nejdůležitějším faktorem při instalaci koše je dodržení dostatečné hloubky vzhledem k hladině kapaliny. Ostatní principy jsou obdobné jako u klasického sacího filtru. Na **obr. 12** je znázorněn příklad sacího filtru včetně schematické značky. Na **obr. 13** je pak příklad sacího koše (4)(11)(13).



Obr. 12 – Sací filtr vhodný pro připojení signalizace znečištění včetně schematické značky (13)



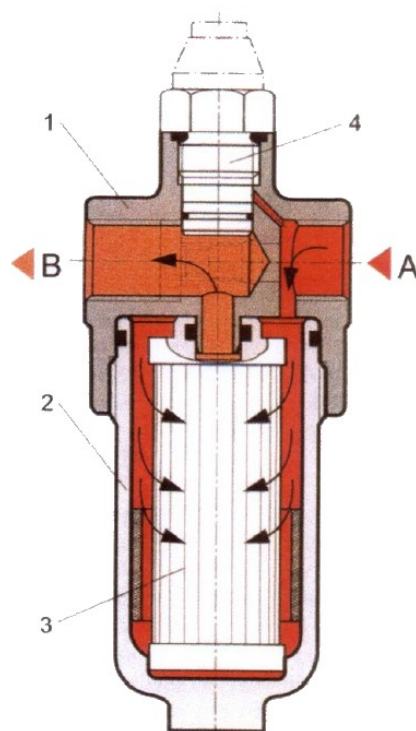
Obr. 13 – Sací koš (13)

5.1.3 Tlakové filtry

Tlakové filtry jsou filtry umístěné v tlakovém potrubí. Jejich primárním úkolem je zabezpečit požadovanou jemnost filtrace a chránit tak prvky systému, které jsou často velmi citlivé na znečištění. Typickým příkladem citlivých prvků jsou servoventily nebo proporcionální ventily. Zároveň jsou vhodné pro ochranu drahých komponentů či zařízení, u kterých je požadována vysoká spolehlivost. Jsou instalovány za čerpadlem, pokud možno co nejblíže chráněného prvku. Takto zapojené filtry označujeme jako tlakové filtry pro vedlejší filtraci kapaliny, protože je filtr umístěn do konkrétní části obvodu. Mohou však být zapojeny ihned za čerpadlem a jejich funkcí je filtrace celkového průtoku kapaliny. Takto zapojené filtry označujeme jako tzv. „*filtry v tlakové hlavní části*“ (10).

Tlakové a obzvláště pak vysokotlakové filtry je nutné vybavit tlakovými snímači, které monitorují zanesení filtračních vložek. V případě vysoké tlakové difference závčas signalizují překročení dovolené hodnoty. Tyto snímače mají zároveň funkci spínače a tak dokážou v dané chvíli vypnout čerpadlo a předejít tak jeho poškození. Vložky tlakových filtrů se vyrábí z vysokopevnostních materiálů, aby odolaly velkým hodnotám tlaků a průtoků. Zároveň musí být dimenzovány na vysoké hodnoty tlakových špiček. Některé filtry jsou navíc vybaveny tzv. bypass ventilem, neboli obtokem (13).

V případě, že hodnoty tlaků jsou řádově nižší, můžeme využít nízkotlakých filtrů. Jsou levnější a odolají tlakům zpravidla do 2,5 MPa (10). Na **obr. 14** je příklad tlakového filtru pro montáž do potrubí.



1 – hlava filtru, 2 – těleso filtru, 3 – filtrační vložka, 4 – zařízení pro signalizaci zanesení filtru (základní verze talkového filtru bez bypass ventilu)

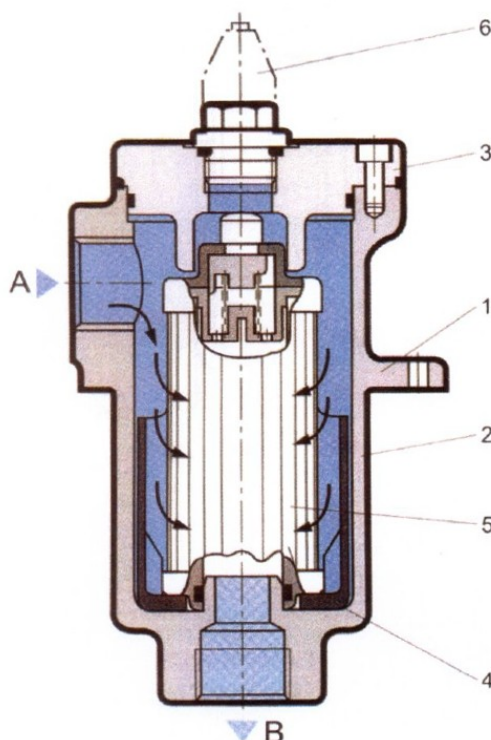
Obr. 14 – Řez základním provedením tlakového filtru pro montáž do potrubí **(10)**

5.1.4 Zpětné filtry

Jedná se o druh filtrů, které jsou umístěny na konci odpadního potrubí. V literatuře se spíše setkáváme s pojmem odpadní filtr. Odpadním potrubím skrze filtr protéká zpět do nádrže již přefiltrovaná kapalina. Ta je zbavená všech uvolněných částic v důsledku provozu hydraulického systému, případně nečistot, které do systému pronikly odjinud. Tento druh filtrace je velmi účinný, avšak je nutné vhodně zvolit filtrační vložku v závislosti na velikosti maximálního průtoku. Jak již bylo řečeno v podkapitole **5.1**, nedílnou součástí zpětných filtrů je bypass ventil. Ten v případě tlakových špiček či studených startů přepouští nepřefiltrovanou kapalinu rovnou do nádrže, což můžeme považovat za nevýhodu tohoto zapojení. Jednou z dalších nevýhod je skutečnost, že filtrace je závislá na provozu zařízení. To je možné vyřešit samostatným filtračním okruhem. Mezi výhody patří snadná údržba a také nízké pořizovací náklady **(10)(13)**.

Zpětné filtry bývají také vybaveny ukazateli znečištění, protože je důležité, aby se hodnota odporu na vložce příliš neměnila. Byl by tak ovlivněn celkový chod hydraulického systému. Dále je třeba zamezit víření případně usazených nečistot v nádrži. To je důvod,

proč musí být vývod kapaliny vyveden dostatečně vysoko ode dna nádrže a zároveň dostatečně hluboko pod hladinou kapaliny. Tím je současně zabráněno pění kapaliny (13). Na obr. 15 je znázorněn řez zpětným filtrem.



*1 – příruba pro uchycení filtru na víko nádrže, 2 – těleso filtru, 3 – víko filtru,
4 – zachytňý koš, 5 – filtrační vložka, 6 – indikátor znečištění*

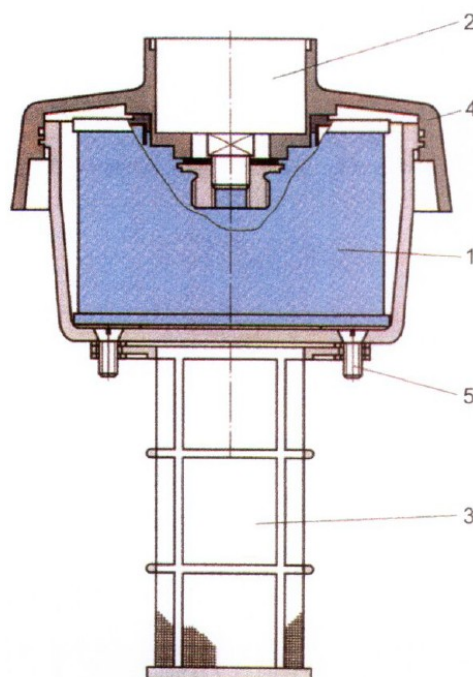
Obr. 15 – Řez zpětným filtrem k instalaci na víko nádrže (10)

5.1.5 Vzduchové filtry

Pojmem vzduchový filtr u hydraulických mechanismů je souhrnné označení pro odvzdušňovací a plnicí filtry z hlediska jejich funkce. Někdy se v literatuře označují tyto filtry jako filtry odvětrávací, avšak jedná se o jedny a tytéž prvky. Tyto filtry se umísťují přímo na víko nádrže. Brání tak průniku nečistot do systému, jelikož nádrž s médiem neustále nasává či upouští vzduch v důsledku vyrovnání tlaku v nádrži v závislosti na změně výšky hladiny.

Hlavním prvkem odvzdušňovacích a plnicích filtrů je vzduchový filtr. Jeho primárním úkolem je zachycení nečistot v důsledku plnění hydraulického obvodu. Volba jeho filtrační vložky závisí na požadované třídě čistoty. Zároveň by jemnost vložky měla přinejmenším odpovídat jemnosti vložky systémového filtru. Všechny vzduchové filtry bývají zpravidla

osazeny signalizací znečištění. Moderní vzduchové filtry obsahují rovněž materiál, který dokáže spolehlivě absorbovat vlhkost. Na **obr. 16** je znázorněn řez plnicím a odvzdušňovacím filtrem (10).



1- filtrační vložka, 2 – zařízení pro signalizaci znečištění filtru, 3 – síto pro zachycení nečistot, 4 – těleso filtru, 5 – upevňovací šrouby

Obr. 16 – Řez plnicím a odvzdušňovacím filtrem (10)

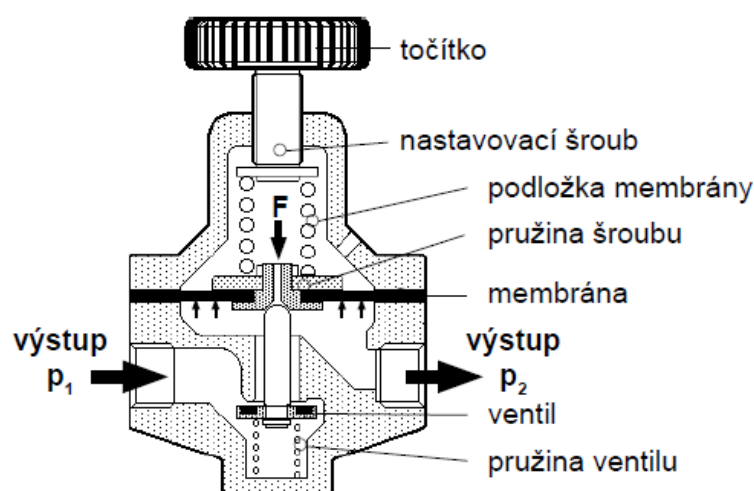
5.2 Filtrace pneumatických mechanismů

V oblasti pneumatických mechanismů je úprava a filtrace stlačeného vzduchu základním předpokladem pro bezporuchový chod celého zařízení. Atmosférický vzduch je třeba zbavit všech nečistot včetně vlhkosti, která se ve vzduchu vyskytuje v plynném skupenství ve formě vodní páry. V případě, že by se vlhkost neodstranila, došlo by ke zkondenzování vodní páry, která společně s kondenzovanými parami kompresorového oleje vytváří mazlavou emulzi. Ta pak zanáší jednotlivé funkční prvky a zabraňuje tak jejich správnému pohybu. Negativní dopad mechanických nečistot je obdobný jako u hydraulických mechanismů. Velké riziko spočívá ve vzniku netěsnosti. V případě, že dojde k mechanickému poškození těsnění, začne systém ztrácet na své účinnosti (7).

5.2.1 Úprava stlačeného vzduchu

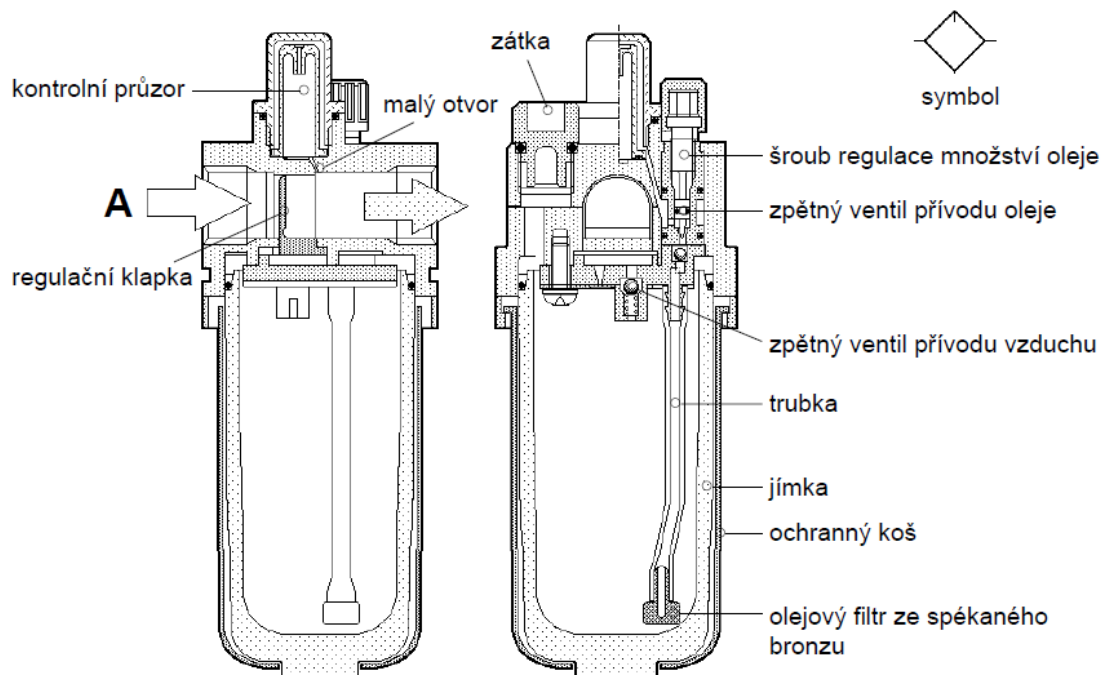
Eliminovat pokud možno co největší procento všech nečistot lze nejlépe v prostoru těsně před samotným použitím stlačeného vzduchu. Zamezí se tak průniku většího množství odrolených částí prvků či okují, které se usadily při zpracování a montáži systému. Úprava stlačeného vzduchu rovněž zahrnuje regulaci tlaku vzduchu a jeho přimazávání, především u některých druhů pneumatických motorů.

Regulátory tlaku vzduchu jsou založeny na principu změny polohy pístu či membrány, **obr. 17**. Vzduch působí tlakovou silou p na jejich plochu a tím dochází k vyrovnání síly pružiny F , jež působí na tyto prvky. Aby byla zajištěna rovnováha těchto sil působících na membránu, ventil reaguje postupným otevíráním a zavíráním v závislosti na změně odběru stlačeného vzduchu. Jsou-li síly v rovnováze, ventil zůstává uzavřený. Tato problematika je podrobněji popsána ve zdroji (7).



Obr. 17 – Princip funkce regulátoru tlaku (7)

Využití přimazávání vzduchu olejovou mlhou je stručně popsáno v podkapitole 2.2. Rozprašovací maznice rozptylují množství oleje rovnoměrně v závislosti na množství proudícího stlačeného vzduchu, **obr. 18**. Maznice jsou vybaveny regulační klapkou, která reguluje množství přivedeného oleje. Doporučené množství je 2 až 5 kapek minerálního oleje na 1000 l_n/min . Minerální olej musí odpovídat normě ISO VG32, tedy oleji o kinematické viskozitě $\nu = 32 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (7).

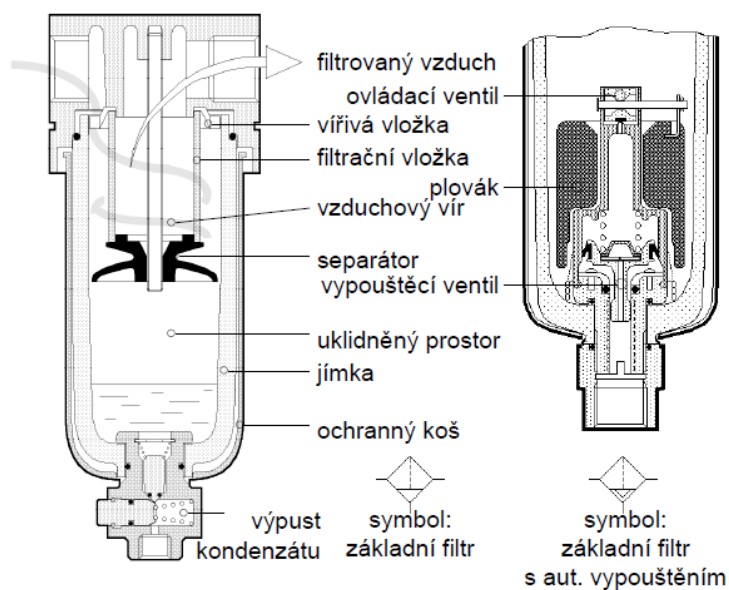


Obr. 18 – Princip rozprašovací maznice (7)

Pro úpravu stlačeného vzduchu je klíčovým faktorem výběr vhodného typu filtru. Při výběru je nutné vzít v úvahu nejvyšší možnou spotřebu stlačeného vzduchu a maximální dovozenou tlakovou ztrátu na vložce filtru. Je také dobré nahlédnout do výrobních katalogů firem, které se výrobou těchto komponentů zabývají. Dle příslušných diagramů je výběr filtru velmi snadný.

5.2.2 Základní filtr

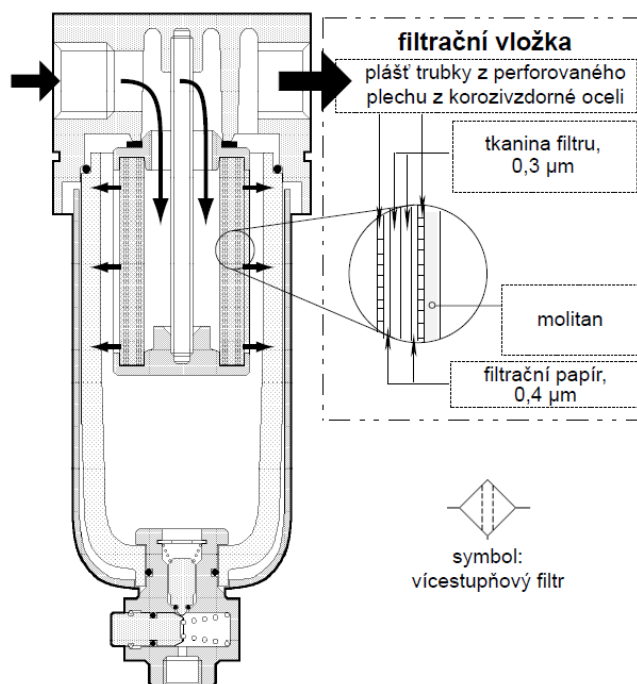
Základní filtr je filtr určený k zachycení mechanických nečistot a odseparování vlhkosti. Pro primární vysušení vzduchu se ale používají sušičky vzduchu. Základní filtr slouží spíše jako záložní prvek pro odloučení vodní páry, zůstane-li ve vzduchu zbytková vlhkost vlivem nedokonalého vysušení. Stlačený vzduch je ve filtru uveden do vířivého pohybu, díky čemuž jsou vodní kapky vlivem odstředivé síly vymrštěny na stěnu, po které stékají dolů na dno jímky, **obr. 19**. Ta může být automaticky nebo ručně vypouštěna. Vložka základního filtru zachytí částice větší než 5 μm . V okamžiku, kdy je na vložce tlaková ztráta větší než 0,1 MPa, je nutné vložku vyčistit, případně vyměnit (7).



Obr. 19 – Základní filtr stlačeného vzduchu (7)

5.2.3 Mikrofiltr

Z proudu stlačeného vzduchu je také důležité odstranit olej, který se vyskytuje ve formě aerosolu či olejových par. K tomuto účelu slouží mikrofiltr, **obr. 20**. Do systému se řadí za základní filtr, aby byla ochráněna jeho vložka před velkým zanesením, protože mikrofiltr zachycuje částice již od 0,3 μm . Takovéto uspořádání prodlužuje jeho životnost.



Obr. 20 – Mikrofiltr (7)

Vložka mikrofiltru je tvořena z papíru a textilních mikrovláken. Na vnitřní a vnější straně vložky jsou umístěny dvě ocelové trubky, z nichž vnější je obalená molitanovou vrstvou. Ta postupně zachytává částice oleje, které pozvolna stékají dolů do jímky. Požadavek na výměnu vložky je stejný jako u základního filtru, popřípadě by provozní doba neměla překročit jeden rok (7).

5.2.4 Submikrofiltr

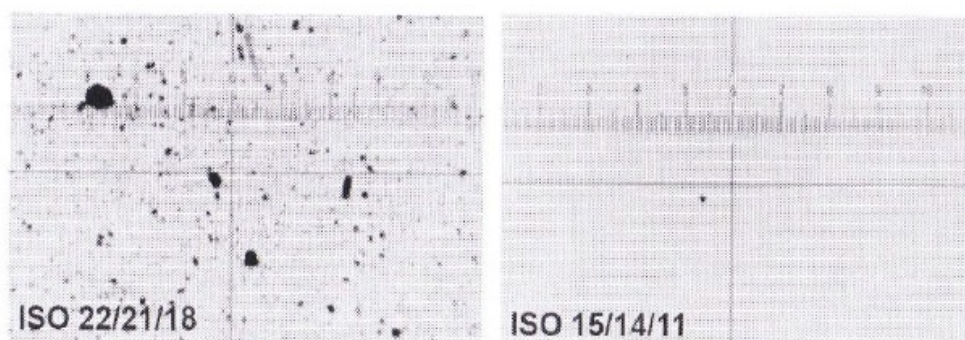
Pro filtraci pevných částic již od 0,01 μm slouží submikrofiltr. Ten je současně schopen zachytit více než 99 % vody, oleje a olejových par. Takto upravený stlačený vzduch je vhodný pro prvky s vysokými požadavky na čistotu. Z konstrukčního hlediska je struktura obdobná jako u mikrofiltru, jediným rozdílem je větší hustota vláken u některých filtračních vrstev. Řazení submikrofiltru navazuje za blokovou skladbu základní filtr - mikrofiltr. Toto uspořádání je výhodné z hlediska zvýšení životnosti vložky submikrofiltru (7).

6 Požadavky na čistotu pracovního média

Klasifikace čistoty hydraulických kapalin a stlačeného vzduchu jsou definovány příslušnými normami. Obě tyto skupiny pracovních médií mají své vlastní normy, podle kterých se posuzuje míra znečištění. Výběr vhodné normy závisí na zvoleném způsobu vyhodnocování daném možnostmi vyhodnocovacího zařízení. Míra maximálního možného znečištění média bývá uvedena v produktových listech jednotlivých hydraulických a pneumatických komponentů. Podrobněji je tato problematika rozebrána v následujících podkapitolách. Klasifikace čistoty u kapalin a stlačeného vzduchu je rozdílná.

6.1 Požadavky na čistotu hydraulických kapalin

Každý hydraulický obvod se skládá z jednotlivých prvků, které se liší svými požadavky na požadovanou minimální čistotu kapaliny. Obecně platí předpoklad, že je nutné kapalinu upravit dle požadované hodnoty nejcitlivějšího prvku. Takovými prvky jsou například servoventily či proporcionální ventily. Pro názornou ukázkou je na **obr. 21** znázorněno znečištění v běžně dodávaném hydraulickém oleji v porovnání s požadovanou čistotou pro moderní hydraulické prvky.



Obr. 21 – Vlevo – hydraulický olej běžně dodávaný v barelech, vpravo – požadovaná čistota oleje (8)

6.1.1 Klasifikace znečištění

V současné době mezi nejčastěji používané klasifikační normy patří mezinárodní norma ISO 4406 a americká NAS 1638. V České republice došlo v roce 2006 k nahrazení české normy ČSN 65 6206 právě normou ČSN ISO 4406 (13). Mezi další významné normy patří například normy SAE 749 D a MIL STD 1246 A.

Všechny zmíněné normy přesně stanovují jednotlivé třídy čistoty v závislosti na množství a velikosti pevných nečistot. Pro správné zařazení zkoumané kapaliny se

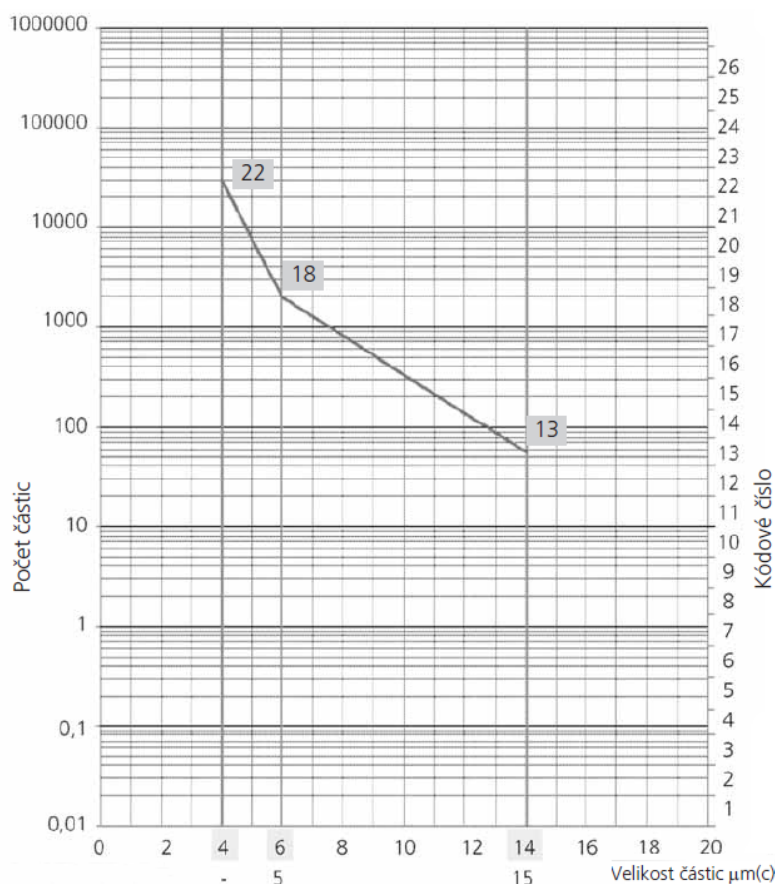
vyhodnocuje odebraný vzorek o objemu $V = 100 \text{ cm}^3$. Výsledné hodnoty jsou pak porovnány s tabulkou v závislosti na zvolené normě.

6.1.2 Kódy čistoty hydraulických kapalin dle norem ISO a NAS

Klasifikace dle normy ISO definuje 24 jednotlivých tříd a má dvě podoby. Za pomoci mikroskopu je třída čistoty udávána kombinací dvou kódových čísel podle počtu zachycených částic, např. -/18/13. V současné době existuje celá řada moderních elektronických čítačů částic, které vyhodnotí třídu čistoty jako kombinaci tří čísel, protože tato metoda umožňuje navíc určit počet částic i v nejmenším velikostním intervalu, např. 22/18/13. Tento způsob je tak vhodný pro všechny rozsahy velikostí znečišťujících částic. S ohledem na zvolenou metodu vyhodnocení jsou jednotlivé rozsahy uvedeny v **tab. 5**. Graficky je pak přiřazení kódového čísla patrné z **obr. 22**.

Tab. 5 – Rozsah velikostí intervalů s ohledem na metodu sčítání částic

Metoda sčítání částic	Velikost částic [μm]		
Elektronický čítač částic	> 4	> 6	> 14
Mikroskop	-	> 5	> 15



Obr. 22 - Klasifikace znečištění kapalin dle normy ISO 4406 (13)

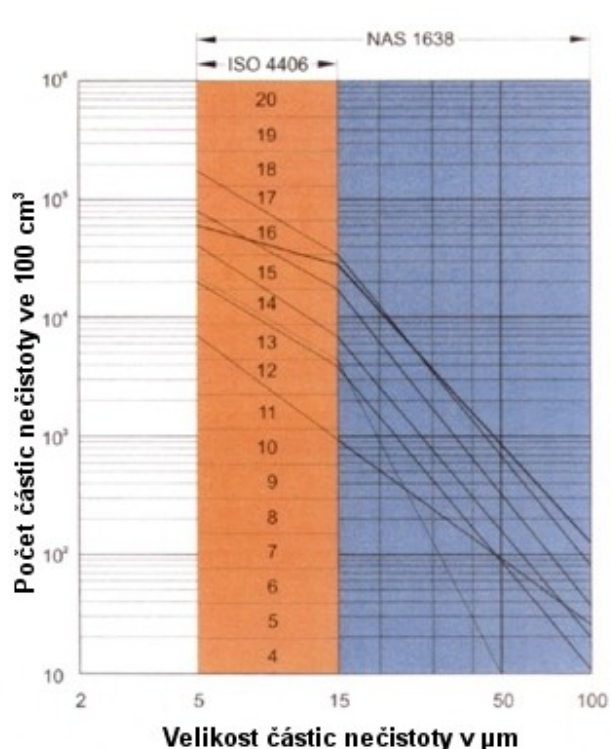
Klasifikace dle americké normy NAS definuje 14 jednotlivých tříd čistoty kapaliny, viz **tab. 6**. Rozložení intervalů dle velikosti znečišťujících částic je patrné z přiložené tabulky. Vzhledem k velkému počtu těchto velikostních intervalů není možné jednoznačně určit třídu čistoty. Proto se většinou považuje rozmezí částic od 5 do 15 μm za výchozí **(10)**. Údaje o třídě znečištění jsou tak obvykle získávány na základě tohoto intervalu. Je-li ale zjištěno v intervalech větších velikostí takové množství částic, které zhorší výslednou kvalifikaci, pak by odpovídající třída měla být určena na základě nejhorší třídy dle počtu částic. Takto stanovené kódové číslo udává třídu znečištění kapaliny, viz **obr. 23**. Nejmenší interval v rozmezí od 2 do 5 μm není oficiální součástí této normy, uvádí se jen informativně. Výhodou této klasifikace je skutečnost, že lze charakterizovat daleko širší spektrum částic nečistot, než v případě normy ISO **(10)**. Vzájemné porovnání je patrné z **obr. 24**.

Tab. 6 – Klasifikace znečištění kapalin dle normy NAS 1638 **(13)**

NAS	Třída čistoty podle NAS 1638					
	Počet částic ve 100 ml					
třída	2 - 5 μm	5 - 15 μm	15 - 25 μm	25 - 50 μm	50 - 100 μm	> 100 μm
00	625	125	22	4	1	-
0	1 250	250	44	8	2	-
1	2 500	500	88	16	3	1
2	500	1 000	178	32	6	1
3	10 000	2 000	356	63	11	2
4	20 000	4 000	712	126	22	4
5	40 000	8 000	1 425	253	45	8
6	80 000	16 000	2 850	506	90	16
7	160 000	32 000	5 700	1 012	180	32
8	320 000	64 000	11 400	2 025	360	64
9	640 000	128 000	22 800	4 050	720	128
10	1 280 000	256 000	45 600	8 100	1 440	256
11	2 560 000	512 000	91 200	16 200	2 880	512
12	5 120 000	1 024 000	182 400	32 400	5 760	1 024
13	-	2 048 000	364 800	64 800	11 520	2 048
14	-	4 096 000	729 000	129 600	23 040	4 096

Parker LCM20	
On Line	
Test Number 141	
D M Y	
Date	10/04/18
Time	13:18
NAS Class	5
Count/100ml	
2/5 μ	313228
5/15 μ	5443
NAS Class	5
15/25 μ	50
NAS Class	1
25/50 μ	21
NAS Class	2
50/100 μ	0
NAS Class	00
>100 μ	0
NAS Class	00
Notes	

Obr. 23 – Ukázka vyhodnocení třídy čistoty dle normy NAS 1638 přístrojem CM20.2021



Obr. 24 – Grafické znázornění rozdělení částic nečistot dle norem ISO 4406 a NAS 1638 a vzájemné porovnání velikostí jejich rozsahů **(10)**

6.1.3 Úroveň čistoty

Jak již bylo uvedeno, jednotlivé prvky se liší svými požadavky na čistotu kapaliny. Řada prvků je velmi náchylná na míru znečištění. Citlivá místa, převážně ta v oblasti vzájemného pohybu dvou částí, jsou vyráběna jen s minimální vůlí, tedy s velkou přesností. V okamžiku, kdy třída čistoty nesplňuje požadavky daného prvku, je nutno kapalinu upravit, případně vyměnit. Konkrétní případy požadavků na třídu čistoty nejběžnějších skupin prvků jsou patrné z **tab. 7**. Tyto uvedené hodnoty jsou pouze orientační. Pokud jsou výrobcem stanoveny vlastní požadavky na třídu čistoty, je vhodné se řídit jimi. V případě využití velmi drahých prvků se doporučuje třídu čistoty navýšit, řádově i o dvě třídy **(13)**. Například místo požadované třídy čistoty 16/14/11 je vhodné kapalinu upravit na třídu 14/12/9. Vyšší stupeň filtrace je ekonomicky výhodnější, než odstraňování případné poruchy a odstávky zařízení.

Tab. 7 – Typické třídy čistoty pro nejběžnější skupiny prvků, upraveno dle **(9)**

čerstvý olej dle ISO 6743	21/19/16
olej pro mazání převodovek	19/17/16
hydraulika - obecně	17/15/12
proporcionální ventily	16/14/11
servoventily	15/13/10

Pro lepší přehlednost jsou v **tab. 8** uvedeny konkrétní třídy čistoty v závislosti na počtu znečišťujících částic a jejich následný dopad na životnost zařízení. Mimo jiné zde jsou zahrnuty i třídy z **tab. 7**. Pro doplnění jsou pak v **tab. 9** uvedeny další příklady vybraných prvků včetně požadovaných tříd.

Tab. 8 – Počet částic v daných třídách nečistot, upraveno dle (9)

Třída čistoty dle ISO 4406	> 4 μm		> 6 μm		> 14 μm		Znečištění	Životnost komponentů
počet částic ve 100 ml kapaliny								
	od	do	od	do	od	do		
23/21/19	4000000	8000000	1000000	2000000	250000	500000	Silně znečištěno nevhodné pro mazací	1/2 životnost
22/20/17	2000000	4000000	500000	1000000	64000	130000		
21/19/16	1000000	2000000	260000	500000	32000	64000	Průměrně znečištěno obvyklý nový olej	0,75 násobná životnosti
20/18/15	500000	1000000	130000	260000	16000	32000		
19/17/15	260000	500000	64000	130000	8000	16000	Lehce znečištěno	Typická životnost
18/16/13	130000	260000	32000	64000	4000	8000		
17/15/12	64000	130000	16000	32000	2000	4000		
16/14/11	32000	64000	8000	16000	1000	2000	Čisté	1,5 násobná životnost
15/13/10	16000	32000	4000	8000	500	1000		
14/12/9	8000	16000	2000	4000	250	500	Velmi čisté	2x životnost

Tab. 9 – Potřebné třídy čistoty pro vybrané hydraulické prvky, upraveno dle (11)(13)

Název prvku	Maximální povolená třída znečištění dle ISO 4406	Doporučená absolutní filtrace [μm]
Axiální pístové čerpadla a hydromotory	20/18/15 při teplotě nad 90 °C -	10
Zubové čerpadla a hydromotory typu AZP a AZM	20/18/15	10
Zubové čerpadla s vnitřním ozubením	20/18/15	10
Lamelové čerpadla	20/18/15	10
Radiální pístové čerpadla	20/18/15	10
Radiální pístové motory	20/18/15	10
Radiální pístové hydromotory Hagglunds	20/18/15 při vysokém zatížení 18/16/13	10
Tlakové ventily - všeobecně	20/18/15	10
Klasické rozvaděče - šoupátkové či sedlové	20/18/15	10
Škrtkové ventily	20/18/15	10
Plnicí ventily	20/18/15	10
Logické ventily	20/18/15	10
Proporcionální ventily	20/18/15 tlakové 18/16/13	10
Proporcionální tlakové a škrtkové ventily	18/16/13 některé typy až 17/15/12	5
Regulační ventily	18/16/13	10
Servoventily	17/14/11	5
Hydraulický válec	20/18/15	5

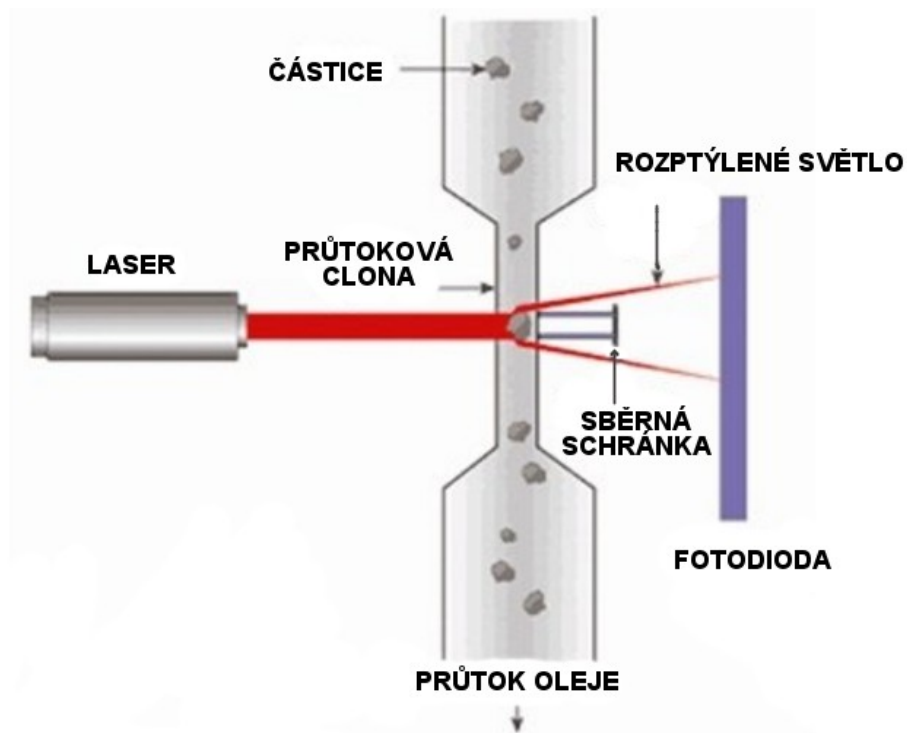
Uvedené hodnoty jsou stanoveny pro pracovní tlak přibližně 16 MPa. V případě, že je hodnota tlaku v systému vyšší, je nutné vhodně zvýšit i třídu filtrace s ohledem na velikost tlakového přírůstku (13). Konkrétní hodnoty těchto změn jsou popsány ve zdroji (13).

6.1.4 Přístroje měřící znečištění

Stanovení obsahu nečistot v hydraulických kapalinách lze nejlépe dosáhnout pomocí optické mikroskopie, nebo využitím moderních automatických čítačů částic. V dnešní době jsou v převážné většině využívány právě automatické čítače, alespoň v oblastech zabývajících se touto problematikou důkladněji. Uvedené metody fungují na principu sčítání částic.

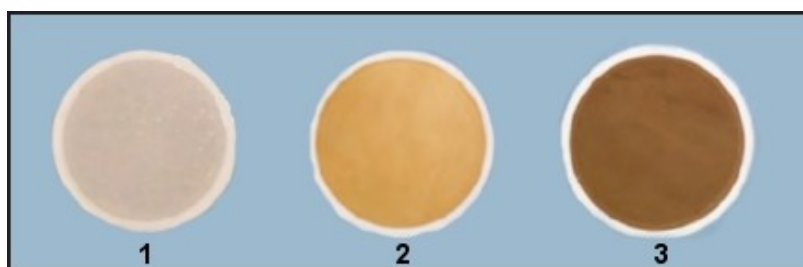
Optická mikroskopie, definovaná normou ISO 4407, sčítá částice větší než 5 μm a 15 μm . Jedná se o formu absolutní filtrace. Jednotlivé stupně jsou definovány stejně jako u normy ISO 4406. Jediným rozdílem je, že pomocí mikroskopu je interval nejmenších částic obtížně definovatelný, proto vyhodnocená třída obsahuje pouze dvě hodnoty namísto tří. Princip této metody spočívá ve sčítání pevných nečistot zachycených na membránovém filtru. Podle typu mikroskopu je sčítání buď manuální, nebo automatické. Výhodou optické mikroskopie je eliminace vlivu částic vzduchu a vody, proto se velmi často považuje za spolehlivější. Mezi nevýhody patří pracnost, dlouhá doba přípravy vzorku a vysoké požadavky na zkušenost vyhodnocovacího pracovníka. Pro přesné určení třídy čistoty mohou pomoci porovnávací etalony, které se porovnají se znečištěným filtračním papírem membránového filtru **(14)**.

Automatické čítače částic, definované normou ISO 115007, jsou založeny na automatickém sčítání částic nečistot. Podle principu se tyto přístroje dělí na světelné a laserové. Světelná metoda funguje na základě odstínění bílého paprsku světla v závislosti na velikosti zachycené částice. Velikost této částice je pak definována jako rozdíl mezi vyslaným množstvím světla a množstvím světla zachyceným fotodiodou. Laserová metoda je založena na rozptylu laserového paprsku způsobeného procházejícími částicemi, **obr. 25**. Tato metoda je citlivější, tudíž i přesnost je vyšší. Největší výhodou těchto zařízení, oproti mikroskopické analýze, je rychlost a jednoduchost vyhodnocení zkoumané kapaliny. Výsledky analýzy jsou k dispozici ihned po dokončení měření. Na druhou stranu jsou však zatíženy chybou, kdy vlivem překrytí mohou být jednotlivé částice vzájemně zastíněny. Další negativní vliv na přesnost měření mohou mít případné bublinky vzduchu a voda, které odstíní paprsek světla stejně jako znečišťující částice **(15)**. Těmito metodami není možné vyhodnotit materiál jednotlivých částic. Tyto okolnosti tak mohou ovlivnit skutečnou hodnotu třídy čistoty. Moderní vyhodnocovací zařízení, jako je například typ Laser CM20.2021 od firmy Parker Hannifin, nabízí klasifikaci rovnou dle tří nejvyužívanějších norem, konkrétně dle norem NAS 1638, ISO 4406 a SAE 749 D.



Obr. 25 – Princip funkce laserového čítače částic, upraveno dle (14)

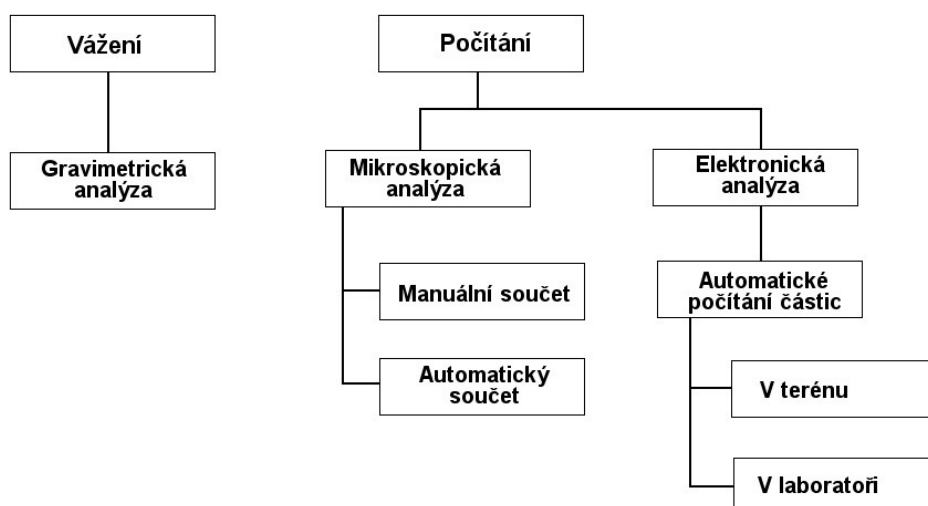
Další variantou, již méně využívanou, je metoda vážení. V odborné literatuře se spíše setkáváme s pojmem gravimetrie. Tato metoda je vhodná při obzvláště velkém znečištění kapaliny, kdy se zjistí hmotnost zachycených nečistot na filtrační membráně, kterou prochází vyhodnocovaná kapalina. Příklady různě znečištěných membrán jsou uvedeny na **obr. 26**. V uvedeném případě jsou membrány schopny zachytit také molekulární produkty degradovaného oleje, a to díky menším velikostem pórů, v porovnání s velikostí u optické mikroskopie (15).



1 - minimální degradace oleje, 2 - degradovaný - ovšem „čistý“ olej, 3 – degradovaný olej

Obr. 26 - Znečištěné membrány vlivem degradace oleje (15)

Pro přehlednost jsou všechny výše zmíněné metody znázorněny na **obr. 27**.



Obr. 27 – Přehled určování znečištění kapalin pevnými nečistotami, upraveno dle (4)

6.2 Požadavky na čistotu stlačeného vzduchu

Požadovaná kvalita stlačeného vzduchu se odvíjí v závislosti na jeho využití a také s ohledem na pracovním prostředí. Obdobně jako u hydraulických kapalin, závisí požadovaná kvalita stlačeného vzduchu na jednotlivých prvcích obvodu. V rámci dosažení maximální účinnosti a minimálních prostojů systému vlivem poruch, je důležité sledovat veškeré aspekty ovlivňující jednotlivé vlastnosti, jako je teplota, vlhkost a řada dalších.

Jak již bylo zmíněno v kapitole zabývající se úpravou stlačeného vzduchu, je potřeba ze vzduchu eliminovat všechny nežádoucí látky a nepříznivé vlivy obecně. V důsledku jejich přítomnosti by mohlo dojít ke ztrátě požadovaných vlastností, k porušení těsnosti či k jiným vážným závadám.

Kvalita vzduchu je definována normou ČSN ISO 8573-1, která nabyla účinnosti v roce 2013 a nahradila tak původní normu ČSN 10 9001. Tato norma definuje jednotlivé třídy rozdělené dle jakosti stlačeného vzduchu. Kromě jakosti, která se klasifikuje jako první, je každá třída specifikována dalšími informacemi v následujícím, pevně daném pořadí:

- třída tuhých nečistot,
- třída vody,
- třída oleje celkově (olej ve formě kapek, páry či aerosolu) (7).

V případě, že se některý z doplňujících údajů třídy neuvádí, nebo není znám, je jeho pozice ve výsledném zápise nahrazena pomlčkou (7). Podrobné členění tříd tuhých nečistot, vody a oleje je znázorněno v **tab. 10**. Z celkově 7 stanovených tříd jakosti je pro pneumatické mechanismy ve velké většině dostatečná třída 4, v některých případech pak třída 5.

Tab. 10 – Tabulka kvality stlačeného vzduchu (5)

třída	mechanické částice		obsah vody	obsah oleje
	max. velikost částic $[\mu m]$	max. koncentrace částic $[mg \cdot m^{-3}]$	max. rosný bod $[^{\circ}C]$	max. koncentrace oleje $[mg \cdot m^{-3}]$
1	0,1	0,1	-70	0,01
2	1	1	-40	0,1
3	5	5	-20	1
4	15	8	+3	5
5	40	10	+7	25
6	-	-	+10	-
7	-	-	nedefinováno	-

Jednotlivé třídy jsou vymezeny množstvím obsažených nečistot a jiných škodlivých látek, na základě kterých je možné stanovit vhodnou oblast využití. Jsou uvedeny konkrétní typy zařízení, pro které je daná třída optimální. Dle této charakteristiky je zároveň možné určit příslušné prvky pro úpravu kvality vzduchu v dané třídě. Na **obr. 28** je znázorněna podrobná charakteristika jednotlivých tříd (7).

č.	požadavky	oblasti použití	ze stl. vzduchu odstraněno	dle ISO 8573-1 odpovídá třídě
1	povolena přítomnost menších mechanických nečistot, vlhkosti a oleje	běžné pneumatické rozvody v průmyslu, upínací přípravky, ofukování apod.	tuhé částice $> 5 \mu m$ kapalný olej $\approx 96 \%$ kondenzát $\approx 99 \%$	3 - -
2	tuhé částice musí být odstraněny, přípustné malé množství kondenzátu	průmyslová zařízení, kovová těsnění, pneumatické nářadí	tuhé částice $\geq 0,3 \mu m$ olejové páry z min. 99,9 % kondenzát z min. 99 %	2 - 4
3	požaduje se suchý vzduch, povoleny jsou drobné tuhé částice	jako u č. 1, lépe vysušený vzduch umožňuje použití pro lakování	atmosférický rosný bod min. - 17 $^{\circ}C$ ostatní jako stupeň 1	3 4 -
4	prach, olej a vlhkost musí být odstraněny	nízkotlaké řídicí systémy, měřicí přístroje, velmi kvalitní lakování, chlazení forem pro tlakové lití a vstřikovacích forem na plasty	tuhé částice $\geq 0,3 \mu m$ olejové páry z min. 99,9 % atmosférický rosný bod min. - 17 $^{\circ}C$	2 4 3
5	čistý vzduch bez nejmenších stop po prachu, vlhkosti a olejových párách	pneumatické měřicí přístroje, elektrostatické lakování, sušení a čištění elektronických součástek	tuhé částice $\geq 0,01 \mu m$ olejové páry z min. 99,9999 % atmosférický rosný bod min. - 17 $^{\circ}C$	1 4 2
6	jako u č. 5, ale bez zápachu	balení, doprava a sušení potravin, léčiv, v pivovarech a u lékařských přístrojů, vzduch upravený k dýchání	jako u stupně 5, ale s odstraněním pachů	1 4 1
7	ani při nejnižších teplotách se nesmí vyskytnout kondenzát, vzduch musí být zcela zbaven prachu a oleje	pneumatická doprava prášků, sušení elektronických součástek, skladování ve farmaceutickém průmyslu, námořní měřicí přístroje, pneumatické obvody pro mrazírny	tuhé částice $\geq 0,01 \mu m$ olejové páry z min. 99,9999 % atmosférický rosný bod min. - 30 $^{\circ}C$	1 2 1

Obr. 28 – Charakteristika míry znečištění jednotlivých tříd stlačeného vzduchu vzhledem k možnosti jeho využití (7)

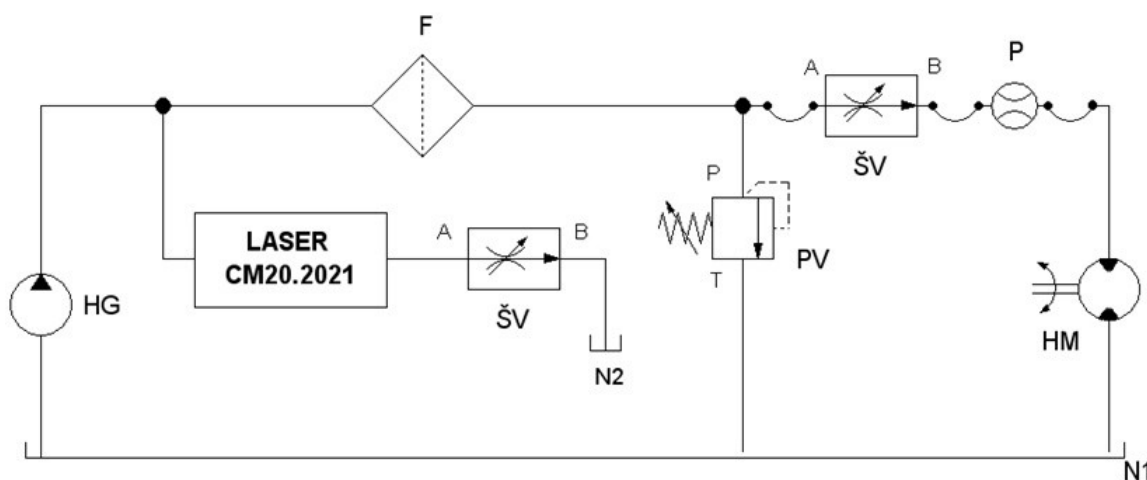
7 Experimentální ověření čistoty pracovní kapaliny na zkušebním vzorku

Součástí bakalářské práce je experimentální ověření čistoty kapaliny na zkušebním vzorku. Kapalina, konkrétně minerální hydraulický olej, byl vyhodnocen za pomoci moderního automatického čítače částic Laser CM20.2021. Měření probíhalo v rámci zkušebního školního standu.

Mým úkolem bylo určit třídu čistoty hydraulického oleje a ověřit, zda zkoumaný olej vyhovuje požadavkům všech prvků daného obvodu. Na základě naměřených dat posoudit, zda je olej vhodný pro další použití.

7.1 Schéma a charakteristika hydraulického obvodu

Pro vyhodnocení hydraulického oleje bylo měřicí zařízení Laser CM20.2021 připojeno do obvodu pomocí minimes přípojky před filtr, aby byly zjištěny skutečné hodnoty vypovídající o třídě čistoty kapaliny, viz **obr. 29**.



N_1 – nádrž, N_2 – nádoba s odebraným vyhodnoceným olejem, HG – hydrogenerátor,
ŠV – škrticí ventil s tlakovou kompenzací (dvoucestná tlaková váha), F – filtr,
PV – pojistný ventil, P – průtokoměr, HM – rotační hydromotor

Obr. 29 - Sestavený hydraulický obvod pro měření znečištění zkušebního vzorku kapaliny

V rámci celého měření byly udržovány stálé pracovní podmínky. Hodnota průtoku Q byla konstantní, teplota okolí t_1 činila 21 °C a teplota hydraulického oleje t_2 se pohybovala v rozmezí od 24 °C do 32 °C. Jeho hustota ρ byla 866 kg·m⁻³ a naměřená viskozita ν

odpovídala oleji o VG 46. Konkrétní typ se zjistit nepodařilo, protože byl olej v nádrži již nějakou dobu.

Jak již bylo zmíněno výše, měřicí zařízení bylo zařazeno před filtr, aby se zjistila skutečná hodnota znečištění oleje. V případě vyhodnocování znečištění až za filtračním elementem by výsledná čistota odpovídala udávané hodnotě filtrační vložky s ohledem na její jemnost. Jiné výsledky by znamenaly, že je vložka zanesená a je ji třeba vyčistit, případně vyměnit. Součástí školního zkušebního standu je MP FILTR 15CN210QE s kódovým označením 936704Q. Maximální možný průtok filtrem Q_{MAX} činí $1,33 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ s maximálním přípustným provozním tlakem $p_{MAX} = 7 \text{ MPa}$. Tento typ filtru je vhodný pro hydraulické obvody s minerálními, rostlinnými a v některých případech i se syntetickými oleji. Zapojení filtru a dalších prvků, včetně AČČ, je patrné z **obr. 30**.



1 – nádrž s hydraulickým olejem, 2 – hydrogenerátor, 3 – AČČ, 4 – filtr, 5 – ŠV s dvoucestnou tlakovou vahou, 6 – průtokoměr, 7 – rotační hydromotor

Obr. 30 – Sestavený hydraulický obvod pro měření čistoty hydraulického oleje

7.2 Specifikace měřicího přístroje Laser CM20.2021

Automatický čítač částic Laser CM20.2021 je moderní elektronické zařízení, které slouží k vyhodnocování čistoty hydraulických kapalin. Automatické čítače částic, dále jen AČČ, umožňují získat velmi přesnou hodnotu znečištění.

Jedná se o zařízení využívající rozptylu laserového paprsku procházejícího sloupcem kapaliny, ve kterém se vyskytují různorodé nežádoucí částice. Jednotlivé částice rozptýlí paprsek laseru, čímž je ovlivněna jeho intenzita dopadající na fotodiodu. Výkon fotodiody tak závisí na počtu, velikosti a hustotě částic obsažených ve snímaném sloupci. Výsledkem je přesné stanovení počtu částic v jednotlivých velikostních intervalech dle zvolené normy. To má na starost šest samostatných kanálů. Každý z nich snímá pouze jednu velikostní třídu a počítá tak počet částic pouze v tomto rozsahu. Celý proces se vyhodnocuje mikroprocesorem CM20, který využívá metodu tzv. „*průměru ekvivalentní kulové částice*“ (15). Princip spočívá v nahrazení částice koulí o stejném objemu jako má daná částice, za účelem snížení chyby v důsledku překrývání částic.

Mezi největší výhody tohoto zařízení, obecně všech AČČ, patří rychlost a provedení vyhodnocení. Při kontrole kapaliny není nutné odstavovat systém, jelikož všechny úkony probíhají za provozu. Po ukončení jednoho měření je možné ihned začít další.

Pro správnou funkci AČČ je však třeba dodržet několik základních podmínek. Dosažení potřebného průtoku je kontrolováno pomocí rozdílu teploty oleje t_2 před a za přístrojem. Je-li tento rozdíl menší než 3,6 °C, je průtok dostatečný a měření může proběhnout. Dále je třeba zkontrolovat, zda je dodržen požadovaný rozsah kinematické viskozity ν . Další vlastnosti a podmínky jsou popsány ve zdroji (12).

7.2.1 Technické parametry

- | | |
|----------------------------|---|
| • výrobce | Parker Hannifin |
| • vyhodnocované normy | ISO, NAS, SAE |
| • testovací čas | 120 s |
| • snímání | kontinuální, laserový snímač |
| • snímané velikosti částic | 2+, 5+, 15+, 25+, 50+, 100+ [μm] |
| • interní paměť | max. 300 souborů |
| • pracovní tlak | max. 42 MPa |
| • vyhodnocení | display, integrovaná tiskárna |

- rozsah viskozity $10 - 100 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
s adaptérem až $500 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
- rozsah teploty média $+5 \text{ až } +80 \text{ }^\circ\text{C}$
- rozsah teploty okolí $+5 \text{ až } +40 \text{ }^\circ\text{C}$
- přenos dat do PC RS - 232
- napájení ze sítě, případně vlastní baterie 12 V
- vlastní hmotnost 5 kg

Údaje o zařízení jsou čerpány z příručky LASER CM20 (12)

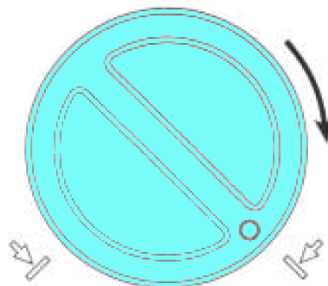
7.2.2 Popis přístroje

Součástí měřicího zařízení je odnímatelný ovládací panel s displejem. Toto řešení umožňuje jednodušší manipulaci a pohodlnější odečet výsledků. Se zařízením je panel propojen pomocí krouceného kabelu. Spodní část ovládacího panelu je magnetická, tudíž jej lze dle potřeby snadno uchytit na magnetické materiály. Hadice je se zařízením pevně spjata, což zabraňuje vniknutí nežádoucích částic do jeho vnitřního prostoru. Integrovaná tiskárna umožňuje okamžitý tisk naměřených hodnot. Znázornění jednotlivých částí je na obr. 31.



Obr. 31 – Popis přenosného AČČ Laser CM20.2021

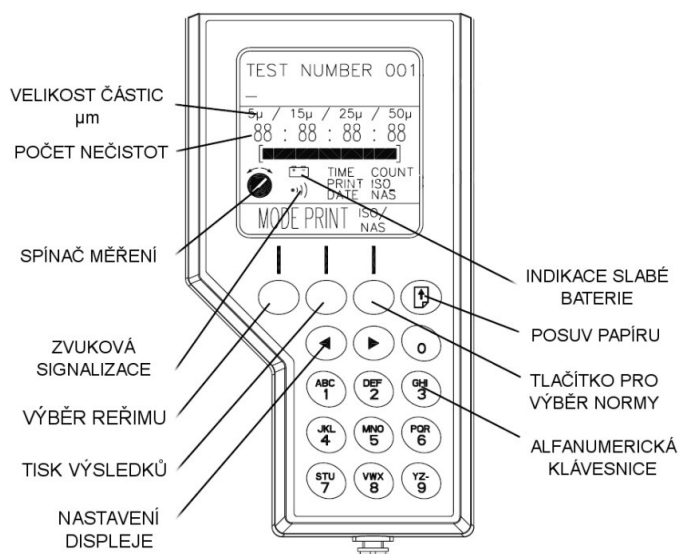
Obsluha a nastavení přístroje je velmi snadná. Ke spuštění měření slouží otočný spínač, **obr. 32**. Po otočení spínače o 90° ve směru šipky se automaticky zahájí test. Před započítím měření je provedena kontrola na dostatečný průtok Q v podobě měření teploty t_2 před a za přístrojem. Test je úspěšně zahájen, je-li tento rozdíl menší než 3,6 °C.



Obr. 32 – Otočný spínač (12)

Přístroj je možné spustit otočením spínače doprava nebo doleva o 90°. Při pohledu shora je na spínači znázorněna šipka určující směr otočení pro spuštění přístroje.

Odnímatelný ovládací panel je tvořen displejem, alfanumerickou klávesnicí a několika dalšími funkčními tlačítky. Na displeji sledujeme jak výsledky, tak nastavení přístroje. Pomocí alfanumerické klávesnice je nastavován datum a čas, případně zde lze pojmenovat jednotlivá měření. Nejdůležitější funkci mají dvě horní řady funkčních tlačítek, pomocí kterých se například volí norma vyhodnocení kapaliny. Popis funkcí jednotlivých tlačítek je uveden na **obr. 33**.



Obr. 33 – Popis ovládacího panelu (12)

7.3 Princip měření a ověření čistoty zkušebního vzorku kapaliny

Pro ověření čistoty hydraulického oleje bylo třeba nejprve sestavit hydraulický obvod dle navrženého schématu, **obr. 29**. V rámci tohoto měření byl využit školní stand, jež se nachází na Katedře hydromechaniky a hydraulických zařízení, v laboratoři E308.

Po sestavení obvodu byl hydrogenerátor prvotně spuštěn na dobu asi 5 minut za účelem ustálení podmínek v systému. Jelikož byl hydraulický olej součástí agregátu již delší dobu, bylo zapotřebí, aby se olej v nádrži promísil z důvodu dosažení konstantní hodnoty znečištění. Poté mohlo dojít k vlastnímu spuštění AČČ, ovšem nejdříve bylo třeba zjistit, zda je v obvodu dostatečný průtok Q . Součástí Laseru CM20 je i vlastní pomocné čerpadlo, které má za úkol udržet stabilní hodnotu průtoku přes snímací zařízení. Druhou variantou měření je využití dvoucestné tlakové váhy, která zajišťuje stabilní hodnotu odporu, tudíž udržuje průtok Q konstantní. V mém případě byla využita tlaková váha. Hodnota průtoku na tlakové váze byla nastavena na maximum. V rámci měření se vždy hodnota průtoku ukázala jako dostatečná. Po otočení hlavního spínače bylo zahájeno snímání sloupce kapaliny. Doba snímání odpovídala přibližně 120 sekundám, včetně vyhodnocení trvalo měření asi 130 sekund. Celý proces jsem opakoval celkem čtyřikrát, vždy ihned po skončení předchozího měření. Po celou dobu měření byly zachovány konstantní podmínky.

7.4 Vyhodnocení

Třída čistoty hydraulického oleje byla vyhodnocena pomocí norem NAS 1638 a ISO 4406. Naměřené údaje jsou uvedeny v **tab. 11**.

Tab. 11 – Naměřené třídy čistoty dle norem ISO a NAS

Měření	ISO 4406	NAS 1638
1	19/13/7	5
2	20/16/11	8
3	20/15/7	7
4	19/14/7	6

Z naměřených hodnot lze jen obtížně určit, o jakou třídu čistoty kapaliny se jedná. Naměřené hodnoty by měly být při opakovaném měření shodné, případně alespoň velmi

podobné. Není možné, aby hydraulickému oleji měřenému při stejných podmínkách, odpovídaly čtyři různé třídy. Jako příčina rozdílných hodnot měření byla možná chyba měřicího zařízení. Jako nejpravděpodobnější příčina velké odchylky se jeví nedostatek hydraulického oleje v systému, to znamená nízká hladina oleje v nádrži. V oleji se tak mohly vyskytnout vzduchové bublinky, čímž mohlo dojít k nasávání těchto bublinek čerpadlem. Vzduchové bublinky tak mohly být zachyceny snímačem a mylně považovány za znečišťující pevné částice.

Tento úsudek vedl k opakování celého měření, ovšem již s doplněným olejem. Třída čistoty kapaliny tak byla stanovena na základě opětovného měření, **tab. 12**.

Do nádrže byl tedy doplněn olej Paramo HV 46 o stejné viskózní třídě, jako původní olej. Jedná se o hydraulický olej s udávanou hustotou ρ v rozmezí 870 až 880 kg·m⁻³ při $t_2 = 15$ °C. Podrobné označení oleje je ISO VG 46, DIN 51524/III – HVLP.

Tab. 12 - Naměřené třídy čistoty dle ISO a NAS po doplnění hydraulického oleje

Měření	ISO 4406	NAS 1638
1	19/13/00	5
2	18/12/00	4
3	18/12/00	4
4	18/12/00	4

Tyto výsledky ukazují, že můj předpoklad byl správný. Nejpravděpodobnější příčinou rozdílných výsledků v rámci prvního měření tak byla nízká hladina oleje v nádrži. Nově naměřené hodnoty už byly takřka konstantní. Výsledná čistota kapaliny dle ISO odpovídá třídě 18/12/00 a dle normy NAS třídě 4.

Naměřené hodnoty odpovídají požadavkům použitých prvků v rámci sestaveného obvodu. Pro porovnání jsou v následující tabulce uvedeny požadované hodnoty tříd u těchto prvků, **tab. 13**. Na **obr. 34** jsou pak uvedeny vytištěné výsledky měření odpovídající výsledným třídám.

Tab. 13 – Doporučená třída čistoty pracovní kapaliny (11)

zubový hydrogenerátor	20/18/15
ŠV s tlakovou kompenzací	20/18/15
tlakové ventily všeobecně	20/18/15
rotační zubový hydromotor	20/18/15

Parker LCM20	
On Line	
Test Number 152	
Date D M Y	
Date	24/04/18
Time	10:44
ISO:	18/12/80
Count/100ml	
>2µ	282914
>5µ	2907
>15µ	28
>25µ	14
>50µ	7
>100µ	0
Notes	

Parker LCM20	
On Line	
Test Number 150	
Date D M Y	
Date	24/04/18
Time	10:36
NAS Class	4
Count/100ml	
2/5µ	229207
5/15µ	3407
NAS Class	4
15/25µ	21
NAS Class	00
25/50µ	7
NAS Class	0
50/100µ	0
NAS Class	00
>100µ	0
NAS Class	00
Notes	

Obr. 34 – Ukázka vytištěných lístků z měřicího přístroje CM20.2021

Závěr

Tato práce se zabývá filtrací a čistotou pracovních kapalin a plynů. V první části práce je vypracovaná rešerše problematiky filtrace hydraulických kapalin a úpravy stlačeného vzduchu. Je zde popsáno základní rozdělení médií s ohledem na jejich vlastnosti a využití. Následně jsou charakterizovány možné příčiny znečištění těchto médií s ohledem na strukturu a skupenství znečišťujících částic. V další části jsou popsány jednotlivé filtrační prvky, tedy typy filtrů včetně filtračních vložek. Navazující kapitola splňuje druhý bod zadání bakalářské práce, kde jsou rozebrány konkrétní požadavky na třídu čistoty pracovních kapalin v závislosti na jednotlivých hydraulických prvcích. Jsou zde popsány nejběžnější normy stanovující tyto třídy a také měřicí zařízení, které tyto normy využívají v rámci vyhodnocení. Zároveň jsou zde popsány principy, na základě kterých tato zařízení fungují. Požadavky na čistotu stlačeného vzduchu jsou popsány obecně, stanovením jednotlivých tříd dle obsažených nežádoucích látek.

V závěrečné části bakalářské práce je zpracován poslední bod zadání, a to ověření čistoty pracovní kapaliny na zkušebním vzorku. V rámci této úlohy bylo využito školního zkušebního standu na Katedře hydromechaniky a hydraulických zařízení, v laboratoři E308. Byl sestaven hydraulický obvod, do kterého byl zapojen moderní automatický čítač částic Laser CM20.2021. Úkolem tohoto zařízení bylo stanovit třídu znečištění minerálního hydraulického oleje, který byl součástí nádrže. Na základě této expertízy bylo pak rozhodnout, zda je olej dostatečně čistý pro další použití vůči požadavkům jednotlivých prvků.

V rámci prvního měření, které jsem opakoval celkem čtyřikrát, byly obdrženy čtyři různé výsledky. Na základě naměřených hodnot jsem usoudil, že rozdílné výsledky měření mohou být způsobeny nízkou hladinou oleje v nádrži. Tím mohlo dojít k přisávání vzduchových bublinek čerpadlem dále do systému. Vyhodnocovaný sloupec kapaliny mohl obsahovat tyto bublinky, které snímač vyhodnotil jako znečišťující částice. Po doplnění nového oleje bylo celé měření zopakováno. Vzhledem k tomu, že při opakovaném měření byly tři ze čtyř výsledků shodné, došel jsem k závěru, že můj předpoklad byl správný. V rámci tohoto měření jsem zjistil, že čistota hydraulického oleje dle normy ISO odpovídá třídě 18/12/00 a dle normy NAS třídě 4. Zkoumaný olej splňuje požadavky na čistotu všech prvků v rámci hydraulického obvodu a je tak vhodný pro další využití. Rovněž díky včasnému doplnění oleje do nádrže bylo zabráněno poškození celého systému vlivem přítomnosti vzduchových bublin.

Seznam použité literatury

- (1) PAVLOK, B.: *Hydraulické prvky a systémy, díl 1. - Kapaliny v hydraulických mechanismech, hydrostatické převodníky*. Ostrava: VŠB-TU OSTRAVA, 2005. 154 s. ISBN 80-248-0857-9.
- (2) PAVLOK, B.: *Hydraulické prvky a systémy, díl 2. - Řídicí prvky hydrostatických systémů, příslušenství hydraulických obvodů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008. 140 s. ISBN 978-80-248-1827-6.
- (3) KOPÁČEK, J.: *Pneumatické mechanismy, díl 1. - Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1996. 265 s. ISBN 80-7078-306-0.
- (4) BAROŠKA, J.: *Hydrostatické mechanismy*. Žilina: Hydropneutech, 2012. 388 s. ISBN 978-80-970897-2-6.
- (5) DVOŘÁK, L.: *Vlastnosti tekutin*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2010. 62s.
- (6) PAVLOK, Bohuslav a Lumír HRUŽÍK.: *Základy hydrauliky: učební podpora kurzu*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2009. 62s. pdf.
- (7) KOLEKTIV AUTORŮ: *SMC Training - Stlačený vzduch a jeho využití: příručka pneumatiky*. 3. vydání. BRNO: SMC Industrial Automation CZ s.r.o., 344 s.
- (8) MURRENHOFF, H.: *Grundlagen der Fluidtechnik: Umdruck zur Vorlesung. Teil 1, Hydraulik. 7. korrigierte Auflage*. Aachen: Shaker, 2012. 400p. ISBN 978-3-8440-1223-1.
- (9) HYDAC Service GmbH: *Hydraulika – základy a komponenty*. Sulzbach: HYDAC International GmbH, 2013. 402 s.
- (10) BOSCH REXROTH GROUP: *Hydraulics. Basic Principles and Components, The Hydraulic Trainer*. Volume 1, 2011. 326p. ISBN: 978-3-9814879-3-0
- (11) BOSCH REXROTH GROUP: *Fluidní technika: průmyslová hydraulika: základy*. 3. doplněné vydání. Brno: Bosch Rexroth, spol. s.r.o. (školení a poradenství), 2012. 260 s.
- (12) PARKER HANNIFIN: *Manuál k obsluze čítače nečistot Laser CM20*.

Internetové zdroje

- (13) Kolektiv techniků akciové společnosti ARGO-HYTOS s.r.o.: *Čistota hydraulických kapalin*. [online]. 2007. 22 s. [cit. 2018-02-07]. Dostupné z: <http://www.hazmioil.cz/pdf/ARGO.pdf>
- (14) MM SPEKTRUM: *Měření čistoty hydraulických kapalin*. [online]. 10/2012 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/mereni-cistoty-hydraulickych-kapalin.html>
- (15) TRIBOLÓGIA: *Archiv časopis Tribotechnika: Tribotechnika 2/2009*. [online]. [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk>

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Kamilu Fojtáškoví, Ph.D. za odbornou spolupráci, přístup a podnětné připomínky v průběhu vypracovávání bakalářské práce. Velmi si vážím vstřícnosti ohledně mnoha dotazů a okamžité odezvy při vzájemné komunikaci. Dále bych rád poděkoval své rodině a blízkým přátelům za podporu při psaní této práce.